

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
FACULTÉ DE DROIT ET DES SCIENCES ÉCONOMIQUES

Les stocks dans un système intégré de gestion d'une entreprise industrielle

Thèse

présentée à la Faculté de droit et des sciences économiques
pour obtenir le grade de docteur ès sciences économiques

par

FRANÇOIS BÉGUIN

1971

IMPRIMERIES RÉUNIES S.A. LAUSANNE



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555024_0003

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
FACULTÉ DE DROIT ET DES SCIENCES ÉCONOMIQUES

Les stocks dans un système intégré de gestion d'une entreprise industrielle

Thèse

présentée à la Faculté de droit et des sciences économiques
pour obtenir le grade de docteur ès sciences économiques

par

FRANÇOIS BÉGUIN

1971

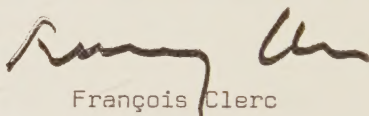
IMPRIMERIES RÉUNIES S.A. LAUSANNE

Monsieur François BEGUIN est autorisé à imprimer sa thèse de doctorat ès sciences économiques intitulée: "Les stocks dans un système intégré de gestion d'une entreprise industrielle".

Il assume seul la responsabilité des opinions énoncées.

Neuchâtel, 10 mai 1971

Le doyen
de la Faculté de droit
et des sciences économiques



François Clerc



PLAN

1. Introduction

- 1.1 Bases de la gestion des stocks
- 1.2 Modèles en fonction du genre de stock
- 1.3 Modèles en fonction du genre d'entreprise
 - 1.31 Entreprises de distribution
 - 1.32 Entreprises industrielles
- 1.4 Présentation du modèle

2. Gestion d'articles répétitifs

- 2.1 *Phase d'initialisation*
 - 2.11 Schéma général
 - 2.12 Gestion des produits finis
 - 2.121 Prévisions de vente
 - 2.122 Stocks de sécurité
 - 2.1221 Influence de la quantité lancée
 - 2.1222 Produits avec historique insuffisant
 - 2.1223 Relation entre MAD et le temps
 - 2.123 Points de lancement
 - 2.124 Modèle d'optimalisation de la production et des stocks
 - 2.1241 Cas de ventes constantes
 - 2.1242 Cas de ventes saisonnières
 - 2.125 Résolution à l'aide d'un ordinateur d'un programme mathématique linéaire
 - 2.13 Gestion des matières premières
 - 2.131 Calcul des besoins
 - 2.132 Quantité de commande
 - 2.1321 Formule de Wilson: quantité de commande fixe
 - 2.1322 Quantité économique flottante
 - 2.133 Points de commande
- 2.2 *Phase de révision*
 - 2.21 Lissage des prévisions de vente
 - 2.211 Lissage exponentiel simple
 - 2.212 Méthode à double coefficient de lissage
 - 2.213 Choix de α et β
 - 2.22 Lissage du stock de sécurité
- 2.3 *Phase d'exploitation*
 - 2.31 Gestion des lancements de production
 - 2.32 Gestion des matières premières

3. Gestion d'articles non répétitifs

- 3.1 Caractéristiques
- 3.2 Modèle de calcul de la quantité optimum de lancement
 - 3.21 Probabilité de vente
 - 3.22 Détermination des paramètres

4. Conclusions

5. Liste des symboles

6. Bibliographie

1. INTRODUCTION

1.1 Bases de la gestion des stocks

Les premières études en matière de gestion des stocks datent des années 1915 à 1922. Quelques auteurs, travaillant indépendamment les uns des autres, aboutirent à une formule donnant le lot optimum de fabrication. Wilson développa la question dans les années qui suivirent et son nom reste attaché aujourd'hui à la méthode de la quantité économique.

Mais c'est surtout dans les années 50 que la théorie et l'application des modèles de stocks se sont développées. Cet essor considérable est dû principalement à deux facteurs :

a) *L'apparition des ordinateurs* : la gestion scientifique des stocks nécessite un grand nombre de calculs ; l'exécution de ces opérations sans calculateur est d'autant plus difficile que le nombre des articles à traiter est souvent considérable. D'autre part, le succès d'une bonne gestion dépend très souvent de sa rapidité et, seul, un ordinateur permet des temps de traitement acceptables.

Les constructeurs d'ordinateurs ont, de leur côté, mis au point des programmes généraux de gestion des stocks (Package) afin de simplifier le travail des utilisateurs ; en effet, les modèles de stock sont souvent très complexes et les entreprises n'ont pas toujours le personnel qualifié pour comprendre et développer de tels systèmes ; la création de packages tels que IMPACT (IBM) ou UNIMAP (UNIVAC) ont permis une application plus rapide des techniques de gestion.

b) *La prise de conscience des stocks* : autrefois les stocks étaient considérés comme un mal nécessaire ; afin de satisfaire la demande, il fallait stocker le maximum et la situation était jugée d'autant meilleure que les stocks étaient élevés.

Aujourd'hui, l'industrie a pris conscience des coûts de stockage ; souvent le niveau des stocks résulte d'une optimisation de plusieurs facteurs tels que :

- coût de stockage
- coût de commande ou de lancement de production
- risque de rupture
- rigidité des approvisionnements ou de la production
- etc.

Il existe aujourd'hui une multitude de modèles. Par exemple, certains fonctionnent avec des quantités de commande fixes et des périodicités variables ou l'inverse ; d'autres avec des approvisionnements continus, ou d'autres encore faisant intervenir des files d'attente.

Dans notre étude nous ne traiterons pas ces différents systèmes et ne chercherons pas à les comparer; nous nous attacherons plus spécialement aux liaisons prévisions — productions — stocks en ayant préalablement choisi un modèle de gestion déterminé.

Quelle que soit la méthode employée, la gestion des stocks cherche à répondre aux deux questions suivantes:

1. *Quelle quantité faut-il acheter ou fabriquer?*
2. *Quand faut-il acheter ou fabriquer?*

Pour la gestion des matières premières, la quantité de commande est généralement fixe; par contre la durée entre deux réapprovisionnements successifs fluctue en fonction du volume des utilisations.

Pour les produits finis, il est plus difficile d'avoir des quantités fixes car la rigidité de l'appareil de production empêche généralement de fabriquer à n'importe quel moment une quantité donnée. C'est pourquoi la quantité de lancement dépend presque toujours de la planification de la production.

Nous verrons plus loin, lors de la description du modèle de gestion choisi, comment l'on peut calculer les quantités de commande et de lancement. Les formules mathématiques cherchent toujours à minimiser des coûts, c'est-à-dire à réduire autant que possible les quantités.

Quant au point de commande il indique le niveau minimum de stock à partir duquel il faut réapprovisionner. Ce niveau est très important car de lui va dépendre:

- le niveau moyen des stocks;
- les risques de rupture;
- le déclenchement des commandes.

Pour les matières premières ce point de commande sera facile à établir et à exploiter: lorsque le stock atteindra ce point, il suffira de passer commande au fournisseur.

Pour les produits terminés, ce point sera fonction de la capacité de production c'est-à-dire des possibilités de fabrication de l'ensemble des produits. Le point de lancement sera fluctuant selon les périodes; il dépendra essentiellement des prévisions de ventes.

1.2 Modèles en fonction du genre de stock

Dans la plupart des cas, les produits fabriqués et vendus sont des articles courants, c'est-à-dire des articles durables ayant nécessité des productions et des réapprovisionnements *répétés*.

Ce caractère répétitif est extrêmement important car il va permettre de tirer un certain nombre de règles; par exemple, en possédant un *historique des ventes* de plusieurs années nous pouvons calculer:

- a) la tendance du produit (trend, saisonnier, etc.) et partant extrapoler des prévisions de vente;
- b) l'écart-type, c'est-à-dire une mesure de la dispersion;
- c) le stock de sécurité à partir des lois de probabilités (distribution normale, de Poisson ou exponentielle);
- d) le point de commande à partir du stock de sécurité et des prévisions de ventes.

Par opposition aux articles répétitifs il existe des produits qui sont vendus une seule fois; le stockage épuisé, ces articles sont abandonnés ou remplacés par d'autres. Dans ce cas on ne possède pas d'historique des ventes; le calcul du point de com-

mande n'a plus d'intérêt car tout est acheté ou produit en une seule fois. Par contre, l'intérêt du gestionnaire de stock pour ces articles réside dans la *quantité optimum de lancement*.

Dans notre étude nous analyserons séparément ces deux types de produits et nous développerons des modèles totalement différents.

1.3 Modèles en fonction du genre d'entreprise

1.31 Entreprises de distribution

Par entreprise de distribution nous entendons celle qui achète et revend sans faire subir de transformation à ses produits. Il n'existe pas de processus de fabrication, donc aucun stock de matières premières.

La plupart des modèles mis au point par les constructeurs d'ordinateurs sont destinés à ce genre d'entreprises. Le contrôle des stocks est relativement simple car l'absence de fabrication supprime toute rigidité au système. En général, on calcule pour tous les produits une quantité de réapprovisionnement ainsi qu'un point de commande; lorsque ce dernier est atteint on déclenche une commande auprès du fournisseur. Il faut aussi signaler que ces modèles font des révisions périodiques en recalculant chaque fois un nouveau point de commande; ceci permet de tenir compte de l'effet saisonnier des ventes ou de tout écart important par rapport aux chiffres initiaux.

Les packages existants permettent de résoudre aussi des problèmes plus complexes tels que celui des commandes groupées dans le but d'obtenir des remises de prix ou celui des quantités de commande variables à intervalle fixe.

Dans notre étude nous ne traiterons pas ce genre d'entreprise.

1.32 Entreprises industrielles

La présence d'un cycle de production va rendre la gestion plus difficile; pour les stocks de produits terminés nous rencontrerons trois difficultés majeures:

a) *La rigidité de la production* ne permet pas de réapprovisionner le stock à n'importe quel moment; un système utilisant le point de commande comme limite de relance de production est difficilement applicable; il provoquerait de très fortes irrégularités dans les ordres de fabrication et empêcherait, par conséquent, toute planification.

b) *Le processus de fabrication* comporte généralement un grand nombre d'opérations; une demande de réapprovisionnement peut avoir des répercussions à tous les stades jusqu'au stock de matières premières. Il peut arriver que le cheminement d'un produit soit entravé par un manque de matières ou une insuffisance de capacité-machine à un stade quelconque du processus. Il en résulte que la liaison entre gestion des stocks et ordonnancement doit rester très étroite.

c) *La saisonnalité des ventes* empêche souvent la production d'absorber les périodes de pointe; il est très exceptionnel qu'une entreprise ait suffisamment de souplesse pour garantir n'importe quel volume de ventes; la réserve de capacité-machine est généralement faible pour des raisons de productivité; d'autre part le personnel d'exploitation n'est pas extensible. En conséquence, nous aurons constitution d'un gros stock de réserve durant les périodes à faibles ventes et inversement. Pour limiter les risques de rupture il sera nécessaire de planifier la production sur une longue période en tenant compte des prévisions de vente.

Il existe de nombreux modèles de gestion de la production surtout en matière d'*ordonnancement*; ce dernier a pour rôle de fixer la date de début de chaque opération

en tenant compte des priorités, des capacités. Il permet donc de mieux utiliser les moyens de production mais il n'assure pas une meilleure gestion des stocks, que ce soient des matières premières ou des produits terminés.

En général, la gestion de la production présente trois insuffisances :

a) *La liaison production — stock des produits finis* est insuffisante; en pratique on calcule rarement un niveau optimum de stock; on ne sait donc pas si ce dernier atteint un niveau convenable. Aussi, voit-on souvent d'une part une production gérée très harmonieusement et, d'autre part, des stocks devenant toujours plus élevés; cela provient du fait que le chef de fabrication a, pour objectif, de produire le maximum avec le minimum de moyens: l'augmentation des stocks est, en quelque sorte, un indice de performance.

Dans le modèle que nous allons développer ci-après nous chercherons à minimiser les stocks en tenant compte des ventes et des contraintes de production.

b) *la liaison production — matières premières* est généralement mauvaise. La relation consiste souvent à déterminer la quantité de matières nécessaires pour une période; ceci n'indique cependant pas si le stock est insuffisant ou trop élevé. La production, quoique bien gérée, sera perturbée par des stocks mal gérés.

c) *l'utilisation des prévisions de vente* n'est pas systématique. C'est pourquoi la planification à long terme existe rarement. Or les prévisions sont d'autant plus importantes que les ventes sont saisonnières. Nous verrons plus loin l'importance de cette planification.

1.4 Présentation du modèle

Nous avons partagé notre étude en deux parties bien distinctes :

- a) la gestion des *articles répétitifs*;
- b) la gestion des *articles non répétitifs*.

Dans le premier cas il faudra se préoccuper des aléas de la demande et des possibilités périodiques de production; le résultat se traduira par la création de stocks de sécurité, de points de lancement et de quantités de commande. Pour les produits non répétitifs il n'y a pas de problème de réapprovisionnements successifs; la gestion consistera à calculer une quantité optimum de lancement sur la base de deux risques contradictoires :

- le risque de réduction du bénéfice au cas où la quantité lancée est inférieure aux possibilités de vente;
- le risque de perte sur matières au cas où les quantités fabriquées sont supérieures aux ventes.

Dans le cadre des articles répétitifs nous avons distingué trois phases successives :

1. *Phase d'initialisation annuelle* : son but consiste à calculer tous les paramètres de base : prévisions de vente, stocks de sécurité, points de lancement, quantités de commande. Une fois connus, ces paramètres permettront de planifier la production et les stocks.

2. *Phase de révision périodique* : comme les prévisions ne sont pas toujours conformes à la réalité, il est nécessaire de revoir les paramètres calculés en début d'année. Cette phase ne consiste pas en une recalculation complète mais en des ajustements basés essentiellement sur le lissage exponentiel.

3. *Phase d'exploitation* : son rôle essentiel réside à contrôler périodiquement le niveau des stocks et à déclencher les ordres de fabrications pour les produits finis et les commandes aux fournisseurs pour les matières premières.

Remarque : dans notre étude nous aurons à calculer plusieurs fois des valeurs de dispersion. En statistique, la notion la plus utilisée est celle de l'écart-type; de notre côté nous travaillerons souvent avec l'*écart absolu moyen* (les Américains parlent de Mean Absolute Deviation: MAD). L'avantage du MAD réside dans le fait qu'il nécessite beaucoup moins de temps de calcul; d'autre part, cette valeur est tout aussi exacte que l'écart-type pour une distribution normale. Connaissant la valeur de MAD, il suffit de la multiplier par 1,25 pour obtenir l'écart-type. Pour le calcul des probabilités, on travaillera avec des tables en fonction de MAD, ce qui nous évitera la transformation en écart-type.

2. GESTION D'ARTICLES RÉPÉTITIFS

Nous nous sommes placés dans le cadre d'une entreprise industrielle car il s'agit là du cas le plus intéressant et le plus complexe.

Nous avons fait en outre les hypothèses suivantes :

a) *les produits sont fabriqués en série* sur la base de prévisions. L'incertitude créée par les prévisions nécessite un stockage minimum des produits finis; ceci n'est pas le cas pour les articles fabriqués sur commande: les problèmes de stockage sont pratiquement inexistants puisque la quantité à vendre est connue; ces problèmes sont reportés aux niveaux des mi-finis et des matières;

b) la plupart des produits subissent les mêmes opérations ce qui signifie qu'ils sont fabriqués sur le même groupe de machines. Cela signifie que la gestion portera simultanément sur l'ensemble des produits.

2.1 Phase d'initialisation

2.11 Schéma général

Ce schéma a pour but de présenter le processus complet de la gestion des stocks à partir des prévisions de vente jusqu'aux matières premières (*voir fig. 1*).

Cette liaison entre les divers phénomènes est importante car elle fait ressortir l'interdépendance de chaque phase et la nécessité d'avoir une vision aussi globale que possible du processus.

2.12 Gestion des produits finis

Notre but est d'optimiser cette gestion en tenant compte simultanément de tous les paramètres; certains de ces derniers devront être préalablement calculés. C'est pourquoi nous allons étudier successivement dans trois paragraphes, comment on détermine les prévisions de vente, les stocks de sécurité et les points de lancement.

2.121 Prévisions de vente

Elles devront être particulièrement soignées, car d'elles va dépendre la qualité de la gestion de la production et des stocks.

Des prévisions trop fortes vont gonfler les programmes de fabrication et partant augmenter les stocks. De même, des prévisions de vente constantes, alors que les ventes sont saisonnières, vont provoquer des ruptures et des fluctuations de stock considérables.

Comme nous avons choisi, dans notre étude, de traiter des articles répétitifs, l'historique des ventes va nous aider à faire des extrapolations. Il est clair qu'en réalité, les ventes ne constituent jamais qu'une simple extrapolation du passé; il faut encore tenir compte d'autres facteurs tels que la publicité, actions commerciales particulières, concurrence, etc.

Dans l'exposé ci-après nous analyserons uniquement l'historique et verrons la meilleure technique d'extrapolation. La tâche principale d'un modèle de prévision sera de classer les articles en fonction de leur tendance :

- produits constants;
- produits saisonniers;
- produits avec trend;
- produits saisonniers avec trend.

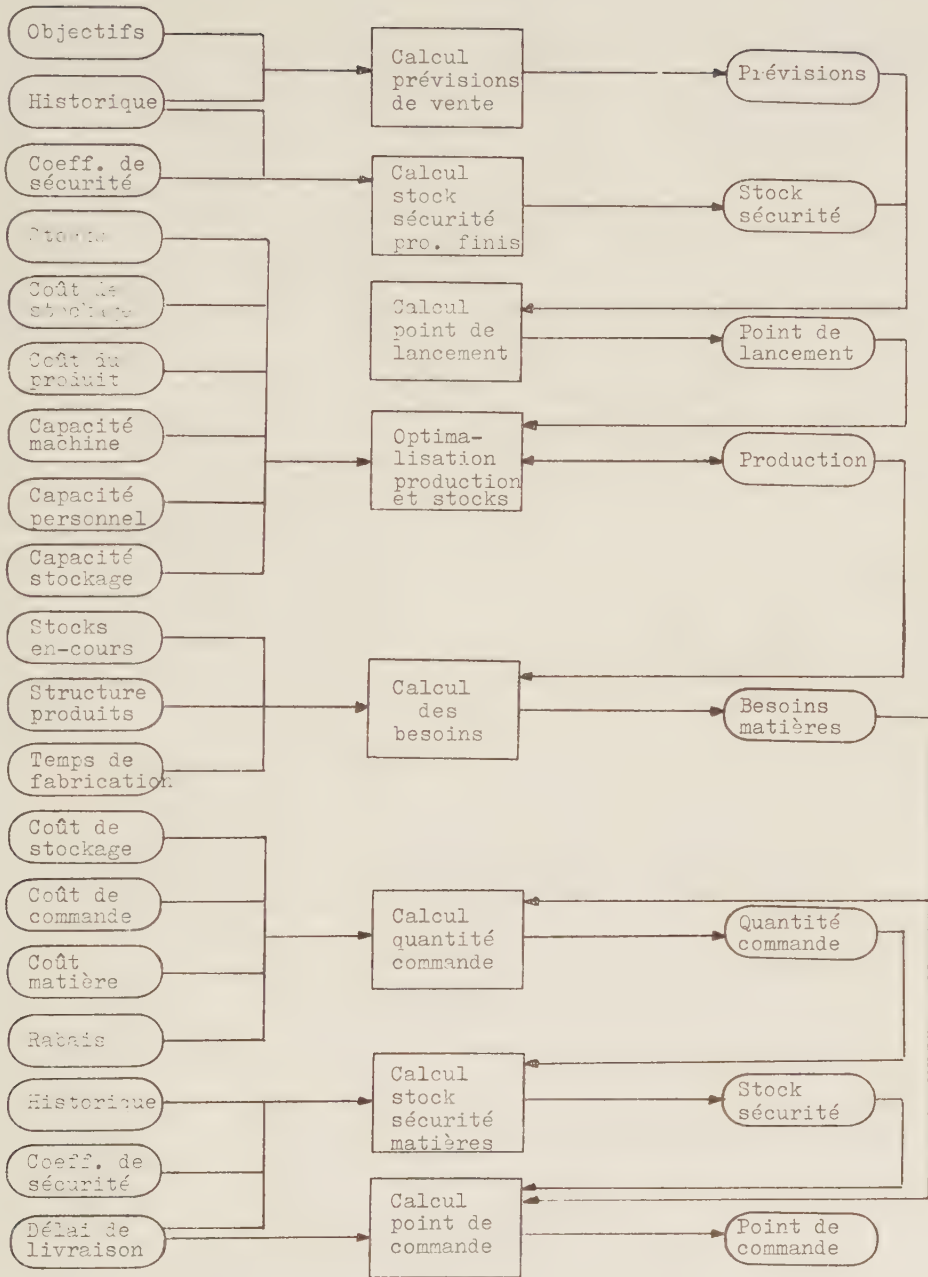


Fig. 1 — Schéma général de la phase d'initialisation.

La complexité des calculs exige souvent l'emploi d'un ordinateur d'autant plus que le nombre des articles à traiter est généralement très important. La figure 2 ci-dessous résume le processus de classification :

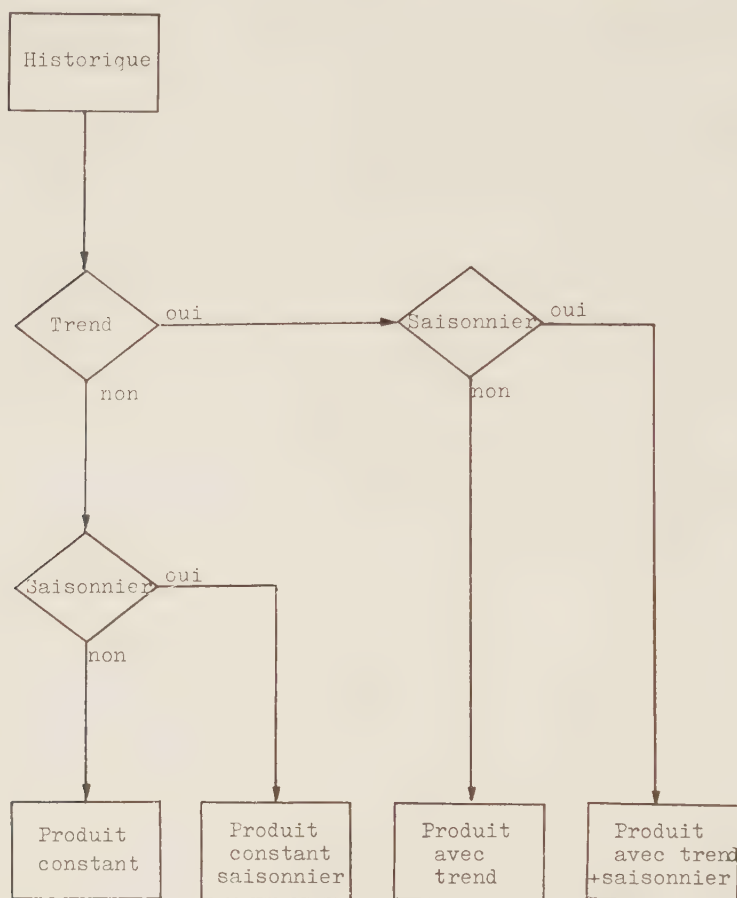


Fig. 2 — Classification des produits.

a) Calcul du trend

Pour calculer le trend il faut ajuster l'historique sous forme d'une droite. On utilise, de préférence, la méthode des moindres carrés :

$$\begin{aligned}
 (1) \quad \Sigma y &= a \Sigma x + nb \\
 \Sigma xy &= a \Sigma x^2 + b \Sigma x
 \end{aligned}$$

Nous obtenons ainsi la droite $y = ax + b$ où a représente la pente, c'est-à-dire le trend. On peut aussi calculer la droite de régression par la formule suivante :

$$\begin{aligned}
 (2) \quad a &= \frac{\Sigma X Y}{\Sigma X^2} \\
 y - \bar{y} &= a(x - \bar{x})
 \end{aligned}$$

a = pente de la droite de régression X = $x - \bar{x}$
x = numéro du mois Y = $y - \bar{y}$

Après avoir trouvé la pente de la droite on ne peut pas en déduire automatiquement qu'il y a un trend; en effet, cette pente peut être la conséquence d'une dispersion très grande des ventes par rapport à la moyenne et à la droite calculée. C'est pourquoi on choisira un *seuil de confiance* basé sur:

- le niveau de sécurité désiré.
- le nombre de valeurs contenues dans l'historique.
- la dispersion entre l'historique et la droite de régression.

Il nous a paru intéressant de présenter la méthode développée par IBM dans IMPACT; le modèle calcule d'abord un coefficient de régression d'après la formule suivante:

$$(3) \quad CR = \frac{\sum_{m=1}^n (y_m - (a x_m + b))^2}{n - 2} \cdot \frac{12}{n (n^2 - 1)}$$

CR = coefficient de régression

y = ventes

x = numéro de la période

a = pente

n = nombre de périodes

Ensuite on va diviser le trend (a) par le coefficient de régression (CR) et obtenir un coefficient (T) qui sera comparé aux valeurs se trouvant dans une table; elle se présente de la façon suivante:

Nombre de périodes	Niveau de sécurité			
	90 %	95 %	98 %	99 %
8	1,86	2,31	2,90	3,36
9	1,83	2,26	2,82	3,25
10	1,81	2,23	2,76	3,17
11	1,80	2,20	2,72	3,11
12	1,78	2,18	2,68	3,06
etc.				

Fig. 3 — Niveau de sécurité en fonction des périodes.

Si le coefficient T est supérieur à la valeur de la table, l'article est classé comme ayant une tendance sinon il s'agit d'un article horizontal.

b) Calcul de la saisonnalité

Le processus de calcul comporte deux phases: la première pour déterminer les coefficients saisonniers et la seconde pour savoir si ces coefficients sont significatifs d'un article saisonnier.

La calculation des indices saisonniers est très simple; on pourra, par exemple, utiliser la méthode des rapports à la moyenne annuelle. Il suffit, pour cela, de calculer la moyenne mois par mois et de diviser ces 12 chiffres mensuels par la moyenne annuelle. On obtient un coefficient que nous appellerons BI_m.

Afin de savoir si les indices choisis représentent bien des variations saisonnières et non pas des écarts accidentels nous allons comparer deux types d'écarts :

1. MADH : l'écart absolu moyen (par rapport à la moyenne annuelle) ;
2. MADS : l'écart absolu moyen (par rapport à la moyenne indicée).

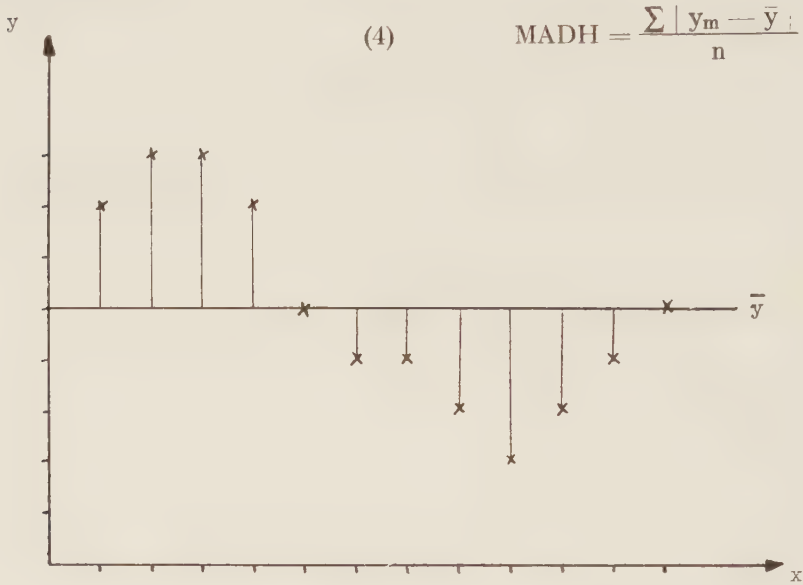


Fig. 4 — Ecart à la moyenne.

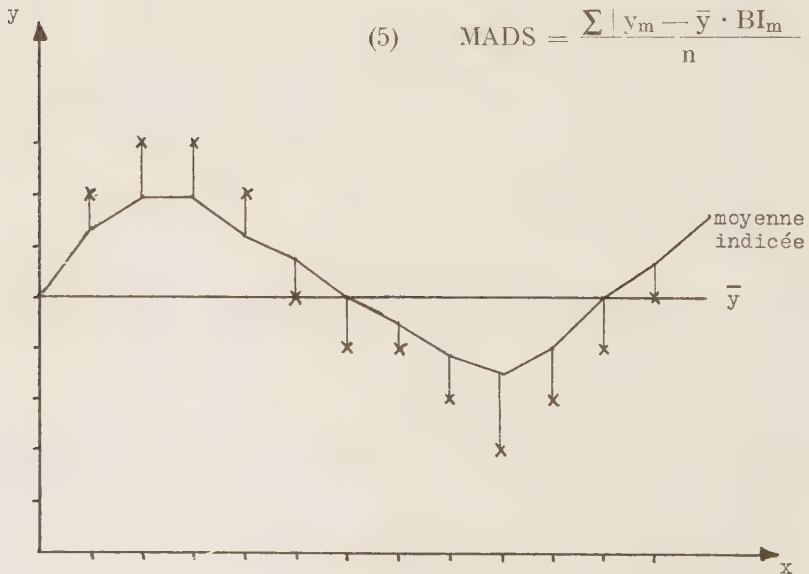


Fig. 5 — Ecart à la moyenne indicée.

Pour qu'un article soit reconnu comme saisonnier il faut que K (formule n° 6) soit supérieur à une valeur choisie (en général: 2); il faut signaler que ces calculs sont valables uniquement si l'historique est de 2 ans minimum.

$$(6) \quad K = \frac{MADH}{MADS}$$

Si l'article était classé avec trend de par le test précédent, nous aurions pour K:

$$(7) \quad K = \frac{MADT}{MADTS}$$

$$(8) \quad MADT = \frac{\sum |y_m - (ax_m + b)|}{n}$$

La moyenne est remplacée par le trend.

$$(9) \quad MADTS = \frac{\sum |y_m - (ax_m + b) \cdot BI_m|}{n}$$

La moyenne est remplacée par le trend indicé.

2.122 Stocks de sécurité

Ces stocks existent pour parer aux écarts entre prévisions et ventes. Si les prévisions étaient absolument exactes, il suffirait de produire les quantités prévues et les stocks se situeraient toujours à zéro en fin de période.

Dans la réalité un stock de sécurité est toujours nécessaire; son importance va influencer à la fois le niveau moyen des stocks et la sécurité du système (ruptures possibles). C'est pourquoi il faudra mettre tout le soin nécessaire à sa calculation.

La plupart des entreprises ont fixé des normes en dessous desquelles il ne faut pas descendre; or, ces stocks minimum ne sont généralement pas déterminés scientifiquement: ils correspondent à x jours de couverture (par exemple, tel stock minimum doit représenter la quantité moyenne vendue au cours d'un mois). Cette méthode est dangereuse car l'on indexe les stocks au volume des ventes, ce qui est faux. En effet, tout stock de sécurité est fonction, non pas du volume, mais des *variations* de vente autour de la moyenne.

En réalité, ces variations d'utilisation de stock ne sont pas désordonnées. Elles peuvent toujours être ajustées par des lois de probabilité connues:

- distribution normale
- distribution exponentielle
- distribution de Poisson.

En général, les produits terminés répondent à une loi normale ou exponentielle et les matières premières à une loi normale ou de Poisson. Pour simplifier, les modèles de gestion des stocks appliquent pour tous les produits la même distribution, ceci sur la base d'un échantillonnage représentatif.

Pour déterminer un stock de sécurité, dans le cas d'une distribution normale, il suffit de connaître trois éléments:

1. La moyenne des ventes (durant le délai de fabrication ou de livraison).
2. L'écart-type ou le MAD.

3. Le niveau de sécurité désiré (ou le complément à 100 % qui correspond au niveau de risque accepté).

Exemple : moyenne ($\bar{y}$) = 12
 écart-type (E) = 3
 niveau de sécurité (N) = 95 %
 stock de sécurité = SS

$$(10) \quad SS = K \cdot E$$

Le coefficient K qui multiplie l'écart-type peut être lu dans une Table de la *fonction intégrale de la loi de Laplace-Gauss*. Pour un coefficient de 95 % on obtient pour K la valeur de 1,65. Ainsi :

$$SS = 1,65 \cdot 3 = 4,95$$

Cela signifie que, dans 95 % des cas en moyenne, les ventes ne dépasseront pas 16,95 (12+4,95) et que, dans 5 % des cas, nous aurons une rupture de stock.

2.1221 Influence de la quantité lancée

Un coefficient de 95 % ne veut pas dire que l'on ait la même sécurité pour tous les articles. En effet, si l'on commande ou fabrique un article une fois par an nous aurons 5 ruptures tous les 100 ans en moyenne alors que, pour un article faisant l'objet de 10 commandes annuelles, nous risquons 5 ruptures tous les 10 ans.

C'est pourquoi il faut tenir compte de la quantité lancée ou commandée.

Exemple :	Produit A	Produit B
Utilisation annuelle (S)	120	120
Quantité de commande (Q)	12	60
Ecart-type (E)	5	5
Ruptures admises par an (r)	1	1

Dans cet exemple nous ne parlons plus de coefficient de sécurité mais de nombre de ruptures admises; cette dernière notion est plus intéressante car, pour une entreprise, elle est moins abstraite.

Nous allons donc transformer ces ruptures admises en coefficient de risque :

$$\text{nombre de commandes par an : } \frac{S}{Q}$$

$$\text{fréquence de rupture : } \frac{r}{\frac{S}{Q}}$$

$$(11) \quad \text{coefficient de risque admis : } \frac{r}{\frac{S}{Q}} \cdot 100$$

Appliquons la formule 11 à l'exemple ci-dessus :

$$\text{risque admis pour le produit A} = \frac{1}{120/12} \cdot 100 = 10 \%$$

$$\text{risque admis pour le produit B} = \frac{1}{120/60} \cdot 100 = 50 \%$$

Pour l'article B on prend un risque de 50 % parce que la fréquence de réapprovisionnement est faible, ce qui n'est pas le cas pour A.

$$\text{stock de sécurité pour A : } SS = 1,28 \cdot 5 = 6,4$$

$$\text{stock de sécurité pour B : } SS = 0 \cdot 5 = 0$$

Dans le modèle que nous développons pour les produits finis il n'est pas tenu compte de la quantité lancée; comme le niveau des stocks est fonction de la capacité de production, les quantités fabriquées sont variables dans le temps. Par contre, pour les matières premières, où la quantité de commande est fixe durant une certaine période nous pourrions utiliser le nombre de réapprovisionnements dans le calcul du stock de sécurité.

Comme nous l'avons signalé auparavant, on peut utiliser l'écart absolu moyen (MAD) à la place de l'écart-type pour autant que l'on utilise une table de probabilité en fonction de MAD. Tous les modèles programmés sur ordinateur utilisent ce mode de calcul.

Il faut encore signaler l'importance des prévisions de vente dans la fixation du stock de sécurité. En effet, la valeur de MAD ne sera pas la même selon la classification de l'article. Par exemple, pour un produit avec trend, les ventes ne seront pas comparées à la moyenne mais à la droite de régression (voir chapitre 2.12). De même pour les produits saisonniers, le MAD sera calculé sur la moyenne indicée.

Toute calculation de stock de sécurité sans classification préalable des prévisions va fausser les stocks dans le sens d'une hausse parce que tous les écarts seront calculés par rapport à la moyenne quelle que soit la tendance du produit; or, les articles saisonniers ou avec un trend, auront forcément des écarts à la moyenne plus grands que les produits constants; il en résultera une augmentation du stock de sécurité. Cette règle est très souvent ignorée dans la pratique.

2.1222 *Produits avec historique insuffisant*

Tout article nouveau dans un assortiment ne possède aucun historique. La calculation du stock de sécurité par la méthode étudiée est impossible parce que l'on ne connaît pas l'écart-type ou MAD.

Ce problème peut être résolu par une méthode d'approximation parabolique:

$$(12) \quad \text{MAD} = \Delta \text{PV}^\gamma$$

MAD = écart absolu moyen

PV = ventes prévues pour une période

Δ = coefficient de proportionnalité (à déterminer)

γ = exposant (à déterminer)

Pour obtenir les valeurs de gamma et delta il faut procéder de la façon suivante:

1. Classer les articles dans l'ordre croissant des ventes. Puis établir un échantillonnage de produits se trouvant dans toutes les catégories de vente. Il faut utiliser un minimum de 50 articles.

2. Calculer le MAD pour l'intervalle de prévision effectivement utilisé.

3. Reporter sur papier doublement logarithmique la vente moyenne en abscisse et MAD en ordonnée.

4. Ajuster une droite entre les points obtenus.

5. Calculer la pente de la droite sur échelle décimale et l'on obtient la valeur de γ . La valeur de Δ correspond à l'intersection de la droite avec l'ordonnée. Grâce à l'échelle doublement logarithmique nous avons transformé une parabole en une droite:

$$\text{MAD} = \Delta \text{PV}^\gamma$$

$$\log \text{MAD} = \gamma \log \text{PV} + \log \Delta$$

Exemple de calcul de Δ et γ

Articles	Ventes mensuelles (PV)	MAD (mensuel)
1	150	70
2	150	100
3	100	40
4	60	50
5	40	25
6	20	20
7	15	10
8	6	10
9	4	4
10	3	6
11	2	3
12	1,5	3

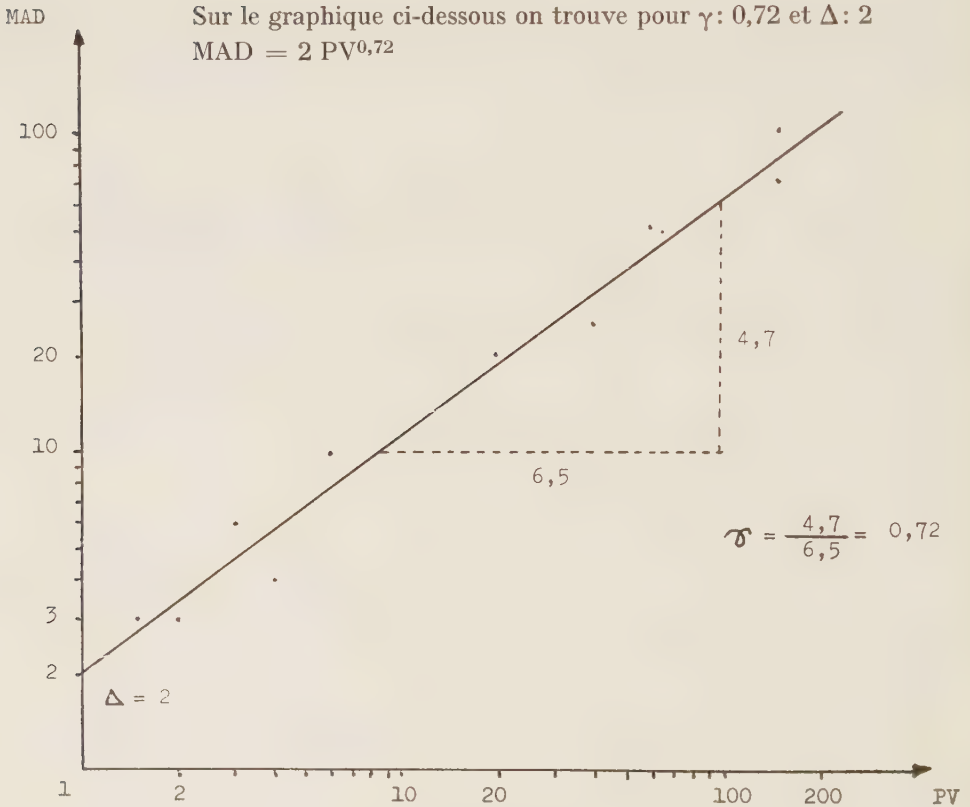


Fig. 6 — Calcul de Δ et γ

Dans la réalité la relation entre MAD et les ventes représente très souvent une parabole; le calcul du stock de sécurité par cette méthode est tout à fait valable. Mais le gros avantage d'utiliser ce procédé réside dans le fait que la totalité des articles auront un stock de sécurité.

2.1223 Relation entre MAD et le temps

Jusqu'à maintenant nous ne nous sommes pas inquiétés des intervalles de temps pour la calculation de MAD. Toutefois ces intervalles de temps sont importants car ils doivent correspondre, pour chaque article, à la durée de fabrication (pour les produits finis) ou au délai de livraison (pour les matières premières). Par exemple, le produit X a une durée de fabrication de une semaine; donc, MAD devra se calculer sur des historiques de une semaine.

Pour des raisons pratiques on conserve toujours des historiques de même durée pour l'ensemble des articles. Evidemment, cet intervalle choisi, ou *temps de base* (BTP: Basic Time Period) ne coïncide pas forcément avec le délai de réapprovisionnement, c'est pourquoi il devient nécessaire d'extrapoler ou interpoler le MAD (calculer en BTP).

Cette extrapolation est simple en ce qui concerne la moyenne; si les ventes d'un produit sont de 1000 unités par semaine elles seront de 2000 pour deux semaines, etc.; l'extrapolation linéaire est réalisée par simple multiplication de la moyenne par le délai exprimé en temps de base.

Pour ce qui est du MAD, la relation avec le temps n'est pas linéaire; par exemple, le MAD pour deux semaines ne correspond pas au double du MAD pour une semaine. La relation, sauf cas exceptionnel, ne correspond pas à une droite: MAD est une fonction du temps élevé à une puissance comprise entre 0,5 (racine carrée) et 1,0 (linéaire). Nous appellerons cette puissance beta.

$$(13) \quad \text{MADT} = \text{MAD1} \cdot \text{TB}^\beta$$

MADT = MAD pour le délai de réapprovisionnement

MAD1 = MAD pour le temps de base (BTP)

TB = nombre d'unités dans le délai: $\text{TB} = \frac{\text{Délai}}{\text{BTP}}$

Exemple: un article a un MAD de 100 calculé sur les ventes mensuelles (BTP); le délai de fabrication étant de 2 mois, quel est le MAD réel en sachant que $\beta = 0,7$?

$$\text{MADT} = 100 \cdot 2^{0,7} \quad \text{TB} = \frac{2 \text{ mois}}{1 \text{ mois}} = 2$$

$$\text{MADT} = 100 \cdot 1,625 = 162,5$$

Ainsi la formule du stock de sécurité que nous avons vue précédemment (10) devient:

$$(14) \quad \text{SS} = \text{K} \cdot \text{MAD} \cdot (\text{TB})^\beta$$

Cette formule présente un double avantage:

1. Elle permet de constituer un historique ayant le même intervalle de temps pour tous les articles.

2. En cas de modification du délai de réapprovisionnement, l'historique et MAD ne changent pas; seule la valeur de TB sera corrigée.

Il faut voir encore comment l'on calcule la valeur de β . A partir de la formule:

$$\text{MADT} = \text{MAD1} \cdot \text{TB}^\beta \quad \text{on obtient: } \text{TB}^\beta = \frac{\text{MADT}}{\text{MAD1}}$$

$$\text{et en prenant les logarithmes: } \beta = \frac{\log \text{MADT} - \log \text{MAD1}}{\log \text{TB}}$$

Pour trouver la valeur de β applicable à l'ensemble des articles, il suffira de prendre un échantillon et de calculer pour chaque produit la valeur de MAD en faisant varier les intervalles de temps. Les articles choisis ne doivent pas avoir un profil à tendance ou saisonnier car ceci fausserait les résultats.

Sur un graphique à échelles doublement logarithmiques on reportera, en abscisse, le rapport des temps et, en ordonnée, le rapport des MAD. La pente de la droite d'ajustement nous donnera la valeur de β .

Exemple : prenons 2 articles où nous calculerons MAD pour des intervalles de 1, 2, 3, 4 semaines.

		art. A	art. B
	MAD1	5	10
	MAD2	9	18
	MAD3	12	25
	MAD4	15	32
		Rapport MAD_i/MAD_j	Rapport TB_i/TB_j
Art. A	MAD2/MAD1	1,80	2
	MAD3/MAD1	2,40	3
	MAD4/MAD1	3,00	4
	MAD3/MAD2	1,33	1,5
	MAD4/MAD2	1,66	2
	MAD4/MAD3	1,25	1,33
Art. B	MAD2/MAD1	1,80	2
	MAD3/MAD1	2,50	3
	MAD4/MAD1	3,20	4
	MAD3/MAD2	1,39	1,5
	MAD4/MAD2	1,78	2
	MAD4/MAD3	1,28	1,33

Reportons les valeurs de la page précédente sur un graphique à échelle doublement logarithmique (*voir fig. 7, page 21*).

2.123 Points de lancement

Il s'agit d'une limite inférieure qui, lorsqu'elle est atteinte par le stock, nécessite une mise en fabrication immédiate. En cas de connaissance parfaite des prévisions de vente pour chaque période le point de lancement (PL) correspond à la vente moyenne durant le délai de fabrication. Dans l'exemple ci-dessous, le délai de fabrication est d'un mois et la vente de 100, donc $P = 100$ (*voir fig. 8, page 21*).

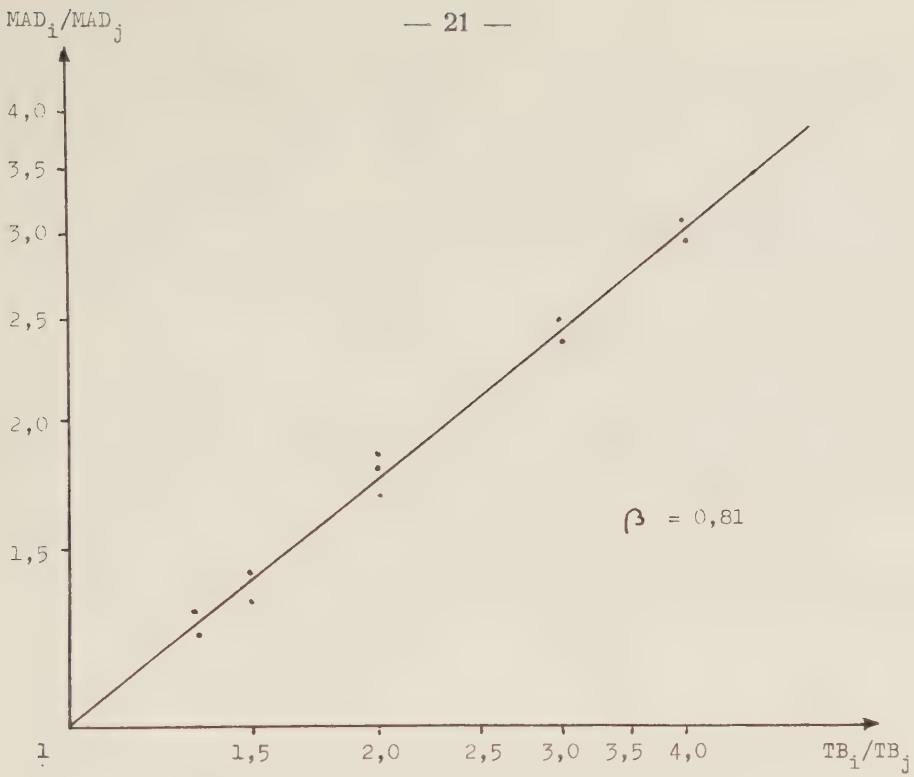


Fig. 7 — Relation entre MAD et le temps: calcul de β

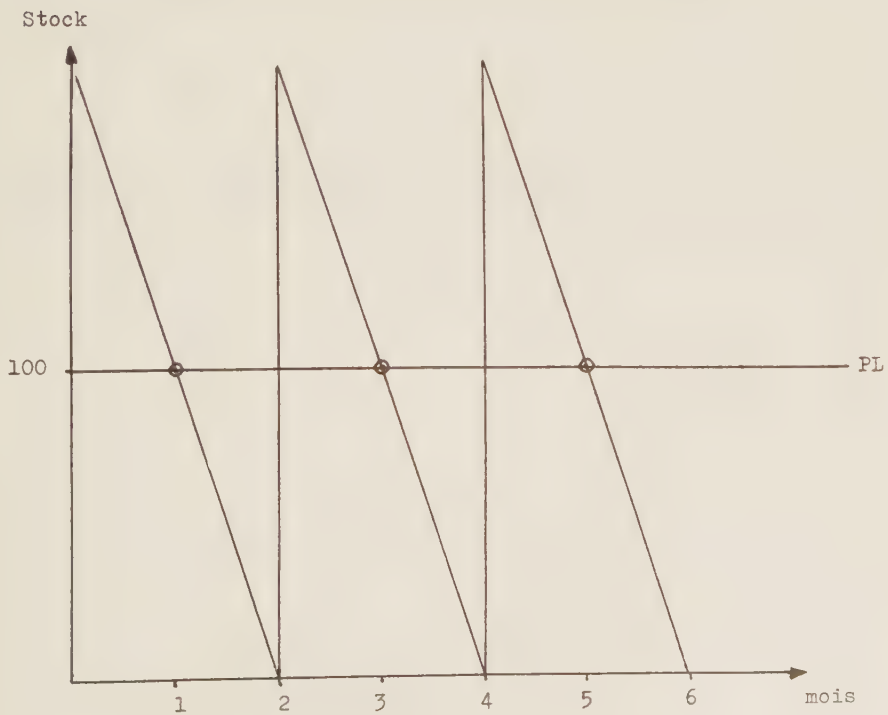


Fig. 8 — Point de lancement sans stock de sécurité.

En réalité, les ventes prévues ne correspondent pas aux ventes effectives, c'est pourquoi on va ajouter à PL un stock de sécurité.

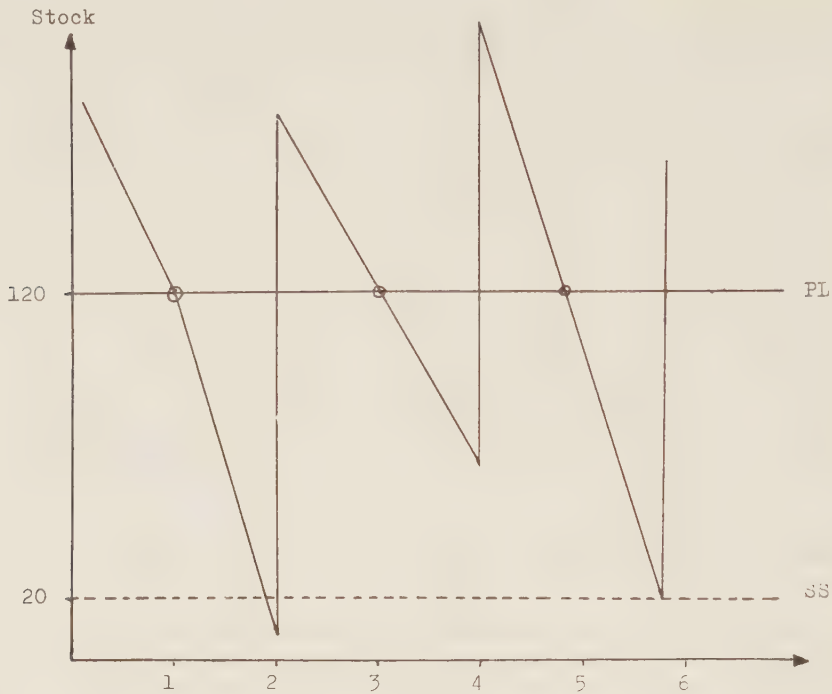


Fig. 9 — Point de lancement avec stock de sécurité.

Comme nous l'avons vu précédemment, le stock de sécurité est destiné à absorber les écarts de vente. Il subsiste toutefois une probabilité de rupture de stock car le coefficient de sécurité choisi ne correspond jamais à 100 %.

La formule du point de lancement est la suivante :

$$(16) \quad PL = SS + PVF$$

PL = point de lancement

SS = stock de sécurité

PVF = vente moyenne durant le délai de fabrication.

Lorsque le stock se situe en dessous du point de lancement il faut agir : nous devons mettre immédiatement une série en fabrication sinon nous risquons une rupture de stock. En pratiquant intégralement cette méthode tout programme de fabrication s'avère inutile : chaque fois qu'un point de lancement est atteint, il suffit de mettre en chantier l'article en question.

Evidemment, la production ne présente jamais une telle souplesse : elle ne peut donc se contenter d'un système aussi anarchique. C'est pourquoi nous allons étudier maintenant un modèle qui permet à la fois de planifier la production et de minimiser les stocks.

2.124 Modèle d'optimisation de la production et des stocks

On peut faire deux hypothèses précises :

- ou bien les produits vendus ne sont pas saisonniers et la production peut être planifiée mois après mois ;
- ou bien les produits sont saisonniers et la rigidité de la production impose une planification sur 12 mois avec constitution de stocks supplémentaires pour faire face aux périodes de grandes ventes.

2.1241 Cas de ventes constantes

Si l'on désire effectuer une planification période après période, il ne suffit pas que les ventes soient plus ou moins constantes : il faut encore que chaque produit suive le même processus de fabrication et ait à peu près les mêmes temps-machine. Si cette condition n'est pas remplie, il peut se produire des ruptures de stock lorsqu'il y a forte demande de produits exigeant beaucoup d'heures-machine (bien que le volume global de vente n'ait pas changé).

La planification de la production comprendra deux phases distinctes :

1. *Calcul de la quantité à produire pour la période* : ici, nous parlerons de mois, mais il pourrait très bien s'agir de semaines ou de quinzaines.

$$(17) \quad X_m = PV_m - SI_m + PL_{m+1}$$

m = période (mois)
 X = production
 PV = prévisions de vente
 SI = stock initial
 PL = point de lancement.

Avec cette formule, le stock doit atteindre en fin de période le point de lancement de la période suivante.

Exemple : stock début janvier : $SI_1 = 400$
 point de lancement février : $PL_2 = 300$
 point de lancement janvier : $PL_1 = 200$
 prévisions de vente janvier : $PV_1 = 500$

$$X_{m=1} = 500 - 400 + 300 = 400$$

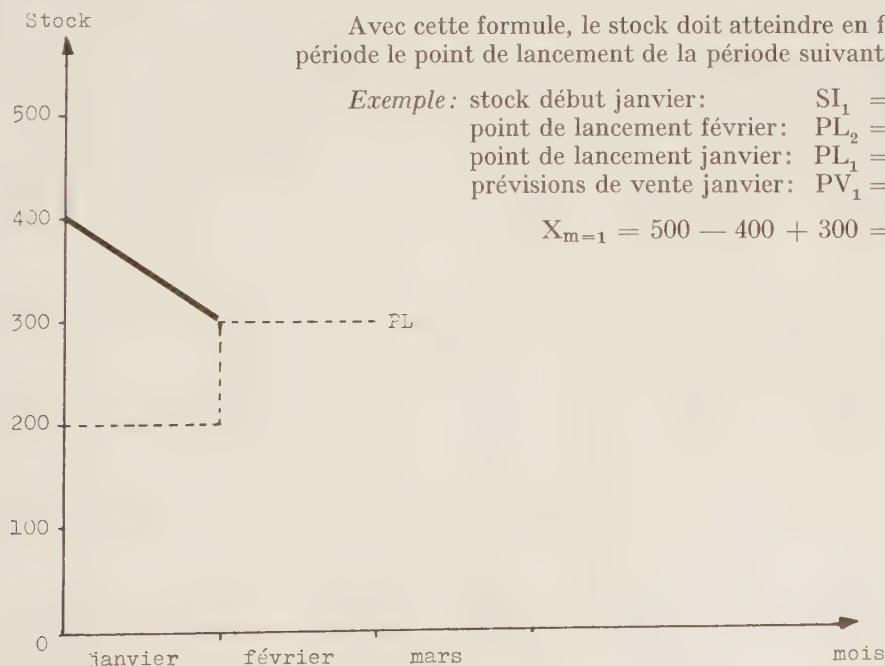


Fig. 10 — Evolution du stock.

Il serait très dangereux de définir comme objectif de stock le point de lancement du mois courant. Si, pour le mois suivant, ce point était plus élevé, il faudrait fabriquer d'urgence pour éviter une rupture de stock.

Maintenant que nous connaissons la quantité à produire pour chaque article, nous allons étudier un ordre de priorité.

2. *Calcul d'un ordre de priorité* : tous les articles ne peuvent pas être fabriqués en même temps au cours du mois; la priorité sera donnée aux articles ayant un stock relatif plus petit.

$$(18) \quad OP_m = \frac{SI_m - PL_m}{PV_m}$$

m = période

PL = point de lancement

OP = ordre de priorité

PV = prévisions de vente

SI = stock

Si l'ordre de priorité est négatif, cela signifie que le stock est inférieur au point de lancement, d'où nécessité immédiate de mettre en fabrication. Si OP est positif, il indique, en fraction de période, la date probable où le point de lancement sera atteint.

Exemple :

stock initial (SI) = 200

point de lancement (PL) = 100

$$OP = \frac{200 - 100}{200} = 0,5$$

prévision de vente (PV) = 200

Cela signifie que PL sera atteint dans un demi-mois. Si cet article est mis en fabrication tout de suite, il y aura création, durant 15 jours, d'un stock supplémentaire appelé *stock de régulation*. Par contre, en fin de mois, le niveau sera celui du point de lancement du mois suivant (pour autant que les ventes prévues aient été réalisées).

Avec cette méthode on n'obtient pas une optimisation de la gestion des stocks au cours de la période, mais on agit de telle sorte que les stocks, en fin de période, soient minimum. L'existence des stocks de régulation est dû à la rigidité de la production. Comme nous l'avons vu précédemment, l'idéal serait de pouvoir produire au fur et à mesure que les points de lancement sont atteints. Ceci n'est jamais le cas dans l'industrie; par contre, pour les matières premières, ce problème ne se pose plus puisque l'approvisionnement se fait par un fournisseur extérieur à l'entreprise.

Exemple de planification de la production avec le système des ordres de priorité:

Art.	SI _m	PL _m	PL _{m+1}	PV _m	Capacité production en jour	X _m		OP	Rang
	Stock	Point	Point	Prévision		Production	Jours	Ordre	
	A	lancement	lancement	vente		KG F = C + D - A	G = F/E	priorité H = (A - B)/D	
1	110	100	90	200	30	180	6	0,05	6
2	200	140	150	300	50	250	5	0,20	9
3	150	100	120	200	85	170	2	0,25	10
4	250	220	200	300	50	250	5	0,10	7
5	100	150	100	500	100	500	5	-0,10	3
6	120	140	100	100	40	80	2	-0,20	2
7	50	50	70	250	90	270	3	0	4
8	300	110	200	380	40	280	7	0,50	11
9	40	25	50	100	55	110	2	0,15	8
10	50	50	80	50	80	80	1	0	4
11	10	34	50	60	50	100	2	-0,40	1

Fig. 11 — Calcul d'un ordre de priorité.

Nous admettrons que ces 11 produits se fabriquent sur deux chaînes identiques. La production mensuelle se répartit sur 22 jours; nous obtenons le programme de fabrication suivant en fonction des ordres de priorité:

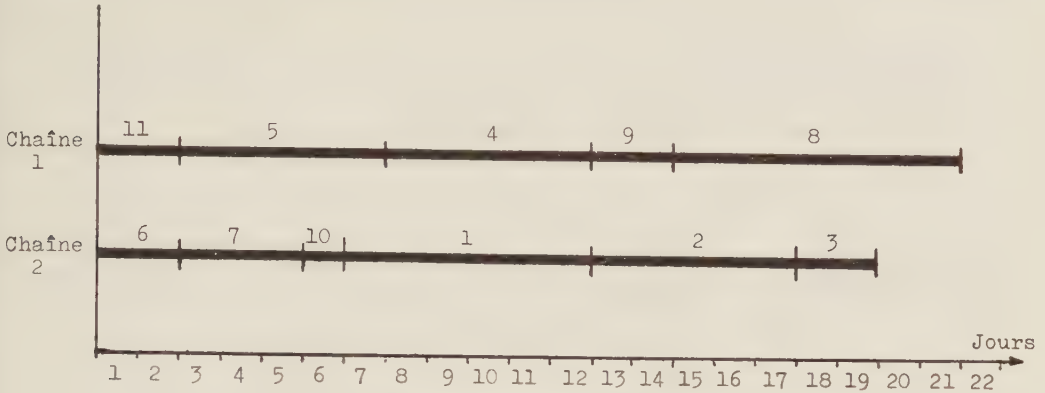


Fig. 12 — Plan de fabrication.

Remarque: dans le chapitre 2.32 (sur la phase d'exploitation) nous avons étudié plus en détail comment s'effectue la répartition de la fabrication.

2.1242 Cas de ventes saisonnières

Lorsque les ventes sont irrégulières, la planification doit se faire sur l'année et non plus sur le mois. En effet, la capacité de production peut s'avérer insuffisante en période de pointe; dans ce cas, il faudra produire les quantités manquantes au cours de périodes précédentes.

La solution consiste donc à fabriquer à l'avance les produits que l'on vendra plus tard afin d'équilibrer la production et partant, éliminer les risques de rupture et limiter au maximum les heures supplémentaires qui grèvent les coûts de production.

Les stocks de produits finis apparaissent donc comme régulateurs entre ventes et production. Le but du modèle de gestion que nous allons développer consistera à réduire au minimum ces stocks de régulation puisqu'ils entraînent, pour l'entreprise, un certain nombre de difficultés:

a) *la trésorerie* s'en trouvera affectée parce que le capital investi dans les stocks immobilise une part des liquidités de l'entreprise. Durant les périodes de faibles ventes, la balance de trésorerie peut devenir négative; il faut alors recourir aux banques pour se procurer les liquidités manquantes; l'intérêt sur ces crédits bancaires a une influence sur le coût des produits. L'entreprise aura avantage à réduire ses stocks à un minimum acceptable afin d'augmenter ses liquidités;

b) *la capacité de stockage* peut être insuffisante; il faudra louer des locaux extérieurs d'où coûts supplémentaires. D'autre part, les transferts de stock de l'entreprise à l'extérieur et vice versa vont encore occasionner des frais de transport et de manutention. Ces frais seront très élevés si la marchandise est volumineuse;

c) *la qualité du produit* peut souffrir d'un stockage trop long. Ceci est le cas pour les denrées alimentaires. Le risque de désuétude doit aussi être pris en considération: un article fabriqué trop tôt peut éventuellement ne plus correspondre aux besoins du consommateur lors de sa mise en vente.

Pour résoudre ce problème d'optimisation des stocks, nous aurons recours à la programmation linéaire; cette technique est à même de résoudre les cas comportant de multiples contraintes et variables. Nous allons maintenant définir les différentes contraintes du modèle:

- a) quantité à produire par article;
- b) capacité maximum de stockage;
- c) capacité machine maximum;
- d) capacité main-d'œuvre minimum et maximum;
- e) production minimum par article.

La liste ci-dessus ne comprend que les contraintes majeures. En fonction des problèmes réels, on pourra introduire d'autres paramètres sans rien changer à la logique du modèle. Toutefois, il est préférable de ne pas compliquer outre mesure le problème pour les raisons suivantes:

— plus le modèle est complexe, plus grand sera le volume des informations. Si l'on doit traiter des milliers d'articles, la collecte des données va ralentir l'introduction et augmenter le risque d'erreur. Il faut bien se rendre compte que toute contrainte nécessite généralement un volume d'informations égal ou supérieur au nombre des produits. En pratique, la compilation de toutes ces données est difficile et exige souvent des mois de recherche. Par exemple, la contrainte concernant la capacité main-d'œuvre nécessite de connaître cette dernière pour chaque produit et pour chaque mois. Si nous gérons 1000 articles nous aurons besoin de $1000 \times 12 = 12\,000$ informations. Il n'est pas certain que l'entreprise connaisse toutes ces données; il lui faudra un certain temps pour les rassembler ou bien elle se contentera de fournir des renseignements approximatifs. Dans ce cas on aura intérêt à abandonner la contrainte en cause pour autant qu'elle n'ait pas une incidence majeure sur le modèle;

— les données de base utilisées dans le modèle ne sont pas immuables; elles vont faire l'objet de modifications périodiques. Si le volume des informations est considérable, le service responsable des mutations sera submergé: aussi la précision recherchée par le modèle risque d'être annihilée par les erreurs de mise à jour;

— la programmation linéaire nécessite généralement le recours à un ordinateur; la capacité mémoire de ce dernier ne permet pas de traiter un volume illimité d'inconnues et de contraintes.

Nous allons examiner maintenant les 5 catégories de contraintes les plus importantes:

1^{re} catégorie de contraintes: quantité à produire par article

En faisant abstraction des stocks, la production d'un article pour une période donnée sera égale à la prévision de vente:

$$(19) \quad X_{i,m} = PV_{i,m}$$

i = article

m période (mois)

X = production

PV = prévision de vente

S'il existe un stock de début de période (SI) nous obtenons:

$$(20) \quad X_{i,m} = PV_{i,m} - SI_{i,m}$$

En appliquant la formule 20 nous obtenons un stock nul à la fin de la période m . En fait, le stock final devra correspondre au point de lancement de la période suivante ($PL_{i,m+1}$):

$$(21) \quad X_{i,m} = PV_{i,m} - SI_{i,m} + PL_{i,m+1}$$

Dans certains cas, la production sera supérieure aux besoins de la période; ce sera le cas quand il y aura création d'un stock de régulation ($S_{i,m}$):

$$(22) \quad X_{i,m} = PV_{i,m} - SI_{i,m} + PL_{i,m+1} + S_{i,m}$$

ou

$$(23) \quad X_{i,m} - S_{i,m} = PV_{i,m} - SI_{i,m} + PL_{i,m+1}$$

La formule 23 donne la contrainte pour le premier mois ($m = 1$). On constate qu'il y a deux variables: la production (X) et le stock de régulation (S); ce dernier fait office de *variable d'écart*. Comme nous voulons planifier la production sur 12 mois nous aurons 12 contraintes par article. Ecrivons celle du deuxième mois:

$$(24) \quad X_{i,m+1} - S_{i,m+1} = PV_{i,m+1} - SI_{i,m+1} + PL_{i,m+2}$$

Le stock initial de la période $m+1$ est inconnu ($SI_{i,m+1}$); en fait, il est égal au point de lancement de la période $m+1$ ($PL_{i,m+1}$), (qui était l'objectif minimum à atteindre) — le stock de régulation éventuel constitué lors de la période m . Donc:

$$(25) \quad SI_{i,m+1} = PL_{i,m+1} + S_{i,m}$$

L'équation, pour la période $m+1$ devient alors:

$$(26) \quad X_{i,m+1} - S_{i,m+1} = PV_{i,m+1} - PL_{i,m+1} - S_{i,m} + PL_{i,m+2}$$

et ainsi de suite jusqu'au 12^e mois. Les équations ci-dessus concernent un article. Le nombre total de contraintes pour l'ensemble des produits est de $12 \cdot n$ (articles). D'autre part, le nombre des variables correspond à $24 \cdot n$, c'est-à-dire 12 variables pour la production mensuelle et 12 pour le stock de régulation.

Résumons ci-après les contraintes nécessaires à déterminer la quantité mensuelle de production:

$$(27) \quad X_{i,m} - S_{i,m} = PV_{i,m} - SI_{i,m} + PL_{i,m+1}$$

Pour $m = 1$

$$(28) \quad X_{i,m} - S_{i,m} = PV_{i,m} - PL_{i,m} - S_{i,m-1} + PL_{i,m+1}$$

Pour m de 2 à 12

i = article

m = mois

X = production

S = stock de régulation

PV = prévision de vente

PL = point de lancement

SI = stock initial

2^e catégorie de contraintes : capacité de stockage

La capacité de stockage étant limitée, il faut s'assurer, qu'en fin de mois, le volume total du stock ait un niveau acceptable. Ce stock est égal, comme nous l'avons vu, à:

$$(29) \quad SI_{i,m} = PL_{i,m} + S_{i,m-1}$$

et pour l'ensemble des articles :

$$(30) \quad \sum_{i=1}^n (PL_{i,m} + S_{i,m-1})$$

Comme tous les articles n'ont pas le même volume il faut multiplier le stock par un coefficient (v) exprimant le rapport $\frac{\text{volume}}{\text{poids}}$.

Le volume du stock ne devra pas dépasser la capacité d'entreposage (CS) :

$$(31) \quad \sum_{i=1}^n (v_i \cdot PL_{i,m} + v_i \cdot S_{i,m-1}) \leq CS_m$$

Pour m de 1 à 12

PL = point de lancement
S = stock de régulation
v = coefficient de volume
CS = capacité de stockage

3^e catégorie de contraintes : capacité machine

Ces contraintes empêchent la production de suivre les fluctuations de vente. La capacité de production est presque constante au cours de l'année (sauf durant les périodes de révision).

Nous avons deux possibilités de définir cette capacité machine :

1. Nous pouvons nous placer au dernier stade de la fabrication et prendre comme coefficient le temps machine de ce dernier stade. Cela suppose que la fabrication est très homogène et qu'il n'existe aucun goulot d'étranglement en amont. L'ordonnancement aura alors pour tâche d'harmoniser tout le processus de production afin de satisfaire les besoins en produits finis calculés par le modèle.

2. Si les divers stades de production ont des durées très variables nous prendrons le temps machine le plus long quel que soit le niveau du stade. Cette méthode est probablement la meilleure mais elle suppose que le cycle complet de fabrication soit bref, sinon les besoins en produits finis seront satisfaits avec des retards importants. En effet, si l'on choisit un stade à partir duquel il faut encore un mois de fabrication pour terminer le produit, les capacités mensuelles seront en fait décalées d'un mois.

Raisonnons sur un schéma simplifié de production (voir fig. 13, page 29).

Dans le processus ci-dessus, nous avons deux chaînes de production bien distinctes ; la première est destinée aux produits 1, 2, 3, alors que la seconde concerne les produits 4, 5, 6 ; ces chaînes ne sont pas interchangeables ; nous aurons donc deux catégories de contraintes :

$$(32) \quad \sum_{i=1}^3 h_i \cdot X_{i,m,c} \leq CM_{c,m}$$

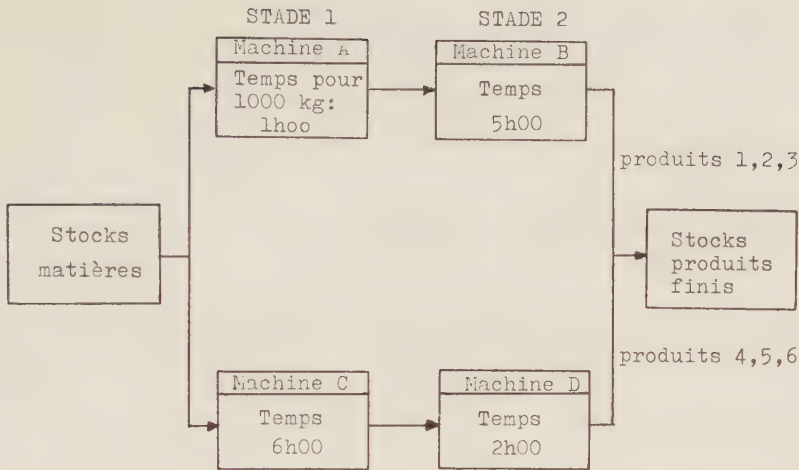


Fig. 13 — Processus de production.

$$(33) \quad \sum_{i=4}^6 h_i \cdot X_{i,m,c} \leq CM_{c,m}$$

Pour les mois $m = 1$ à 12

i = produits
 m = mois
 c = chaînes de fabrication
 X = production
 h = heures machine

Dans la première chaîne nous prendrons les temps machine B puisqu'ils sont plus importants que ceux de la machine A; cela signifie que, si l'on peut fabriquer x articles sur B, on pourra forcément le faire sur A (puisque le temps est plus court). Pour la seconde chaîne, il faudra prendre les temps de la machine C (il ne s'agit donc plus du dernier stade de fabrication).

Remarque: on ne peut pas, à l'intérieur d'une même chaîne, cumuler les temps de chaque opération parce que les machines travaillent en même temps. Pendant que la machine B effectue son opération, A usine les pièces nécessaires à B.

Il faut aussi se rappeler ici que le but de notre modèle n'est pas d'ordonnancer la production, c'est-à-dire d'harmoniser les divers cycles d'opérations. Notre modèle cherche à savoir la quantité de produits finis que l'on veut et que l'on peut fabriquer par période.

4^e catégorie de contraintes : capacité main-d'œuvre

Ces contraintes sont complémentaires à celles sur la capacité machine. En effet, les machines ne peuvent fonctionner que si la main-d'œuvre est suffisante. Il se pourrait donc que la production prévue soit irréalisable à cause de la main-d'œuvre bien que la capacité machine soit suffisante.

$$(34) \quad \sum_{i=1}^n d_i \cdot X_{i,m} \leq \text{COS}_m$$

Pour m de 1 à 12

i = articles

m = mois

d = heures-ouvrier

COS = capacité main-d'œuvre maximum

X = production

Comme il n'est généralement pas possible de laisser inactif une partie du personnel d'exploitation durant une période il faut aussi tenir compte d'une activité minimum:

$$(35) \quad \sum_{i=1}^n d_i \cdot X_{i,m} \geq \text{COI}_m$$

Pour m de 1 à 12

COI = activité main-d'œuvre minimum (en heures)

5^e catégorie de contraintes : production minimum

Comme nous avons choisi une période assez grande dans notre modèle (le mois), il est peu probable qu'une production calculée soit inférieure au minimum admissible. Il pourrait cependant arriver, pour des articles peu importants ou très saisonniers, que la quantité nécessaire soit vraiment trop faible; aussi faudra-t-il fixer une production minimum:

$$(36) \quad X_{i,m} \geq \text{PMI}_{i,m}$$

Pour les produits i de 1 à n
Pour m de 1 à 12

X = production

PMI = production minimum

Dans certains types de fabrication, le changement de production sur une même machine peut entraîner des pertes de temps considérables. Dans ce cas-là il sera intéressant de calculer une quantité optimum de lancement pour chaque article:

$$(37) \quad \text{QL} = \sqrt{\frac{2 \cdot \text{PV} \cdot \text{CL}}{\text{CU} \cdot s}}$$

QL = quantité lancement

PV = prévision de vente

CL = coût de lancement

CU = coût unitaire du produit

s = coût de stockage par franc

(Cette formule 37 sera étudiée plus tard dans le chapitre sur la gestion des matières premières).

Dans notre modèle, la production minimum sera égale ou supérieure à une quantité de lancement:

$$(38) \quad X_{i,m} \geq \text{QL}_i$$

Fonction économique : minimiser les coûts de stockage (stocks de régulation).

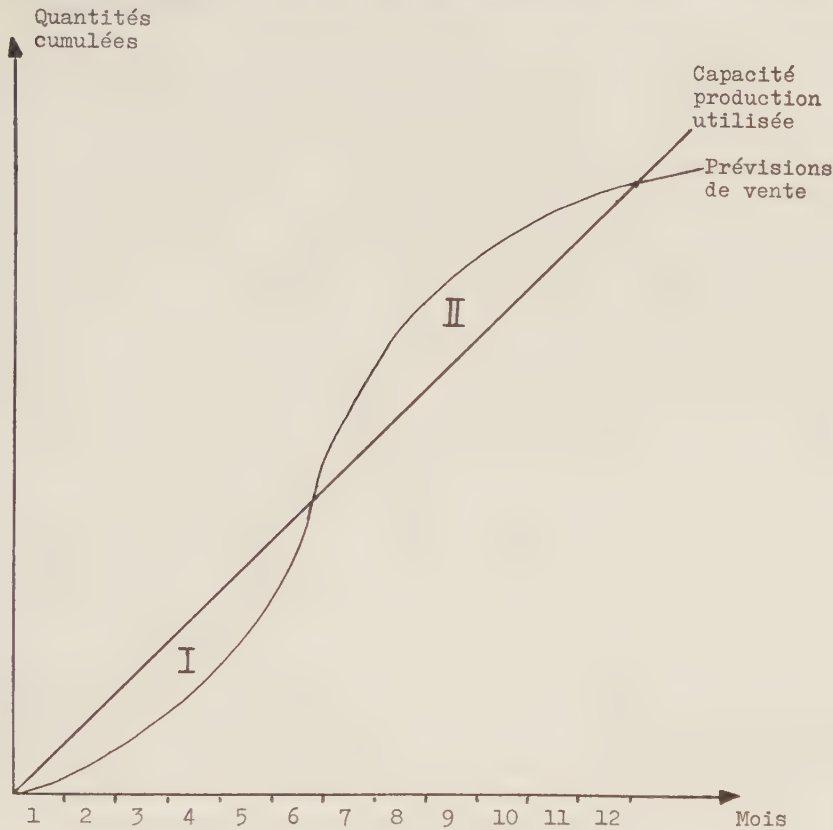


Fig. 14 — Production et vente cumulées.

La figure 14 montre que les ventes sont saisonnières avec une forte pointe le 2^e semestre. Il faudra donc produire davantage le 1^{er} semestre d'où la création d'un stock de régulation correspondant à une fraction de la surface I.

Schématiquement l'évolution des stocks sera la suivante (voir fig. 15, page 32).

Si les ventes n'étaient pas saisonnières le stock atteindrait, en fin de période, le point de lancement (qui est la limite en dessous de laquelle il ne faut pas descendre si l'on veut éviter le risque d'une rupture).

Dans l'exemple ci-dessus, il existe un stock de régulation en plus du point de lancement. Dans notre modèle nous cherchons à minimiser ce stock de régulation (et non le stock total) en tenant compte du coût de chaque produit.

$$(39) \quad Z = \sum_{i=1}^n CU_i \cdot S_{i,m-1} + \dots + CU_1 \cdot S_{1,m-12}$$

Nous chercherons à minimiser la fonction Z

i = produits
m = mois

CU = coût unitaire du produit
S = stock de régulation

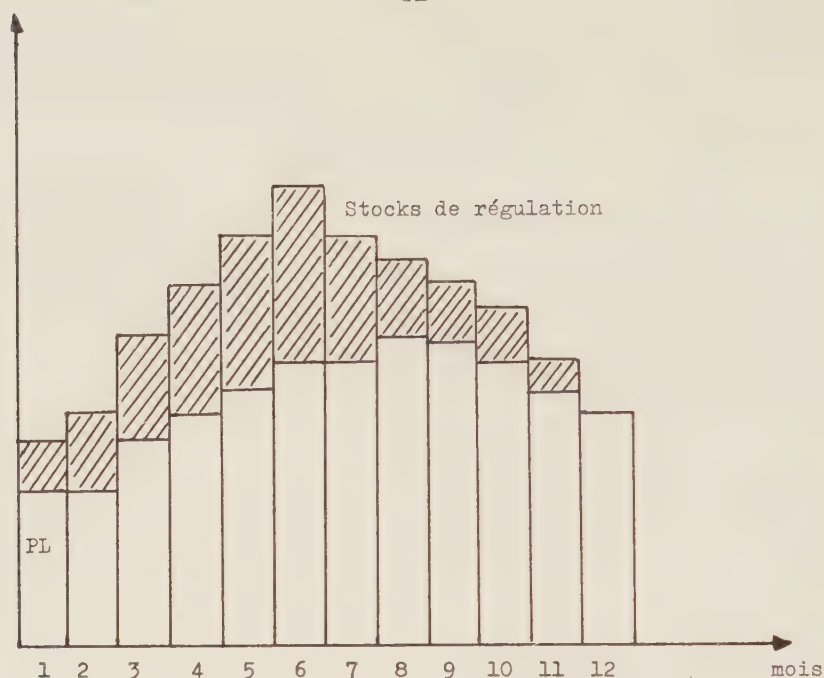


Fig. 15 — Evolution du stock de régulation.

2.125 Résolution à l'aide d'un ordinateur d'un programme mathématique linéaire

Pour confronter notre modèle avec la réalité nous avons procédé à des essais à l'aide d'un ordinateur. Notre tâche a été facilitée par l'existence d'un langage de programmation approprié. IBM a mis au point un langage destiné aux applications mathématiques: le *MPS (Mathematical Programming system)*. Ce dernier permet, entre autres, les résolutions de problèmes par la programmation linéaire.

Pour ne pas traiter un nombre trop grand de variables, nous avons pris dans notre exemple 2 articles (A et B); nous planifierons la production sur 4 mois et prendrons en considération seulement les deux premières contraintes, à savoir le volume de production et la capacité machine.

Art.	Stock init. SI	Prévisions vente PV				Point de lancement PL				
		1	2	3	4	1	2	3	4	5
A	10	30	100	200	20	20	40	80	10	40
B	10	20	50	100	30	10	20	40	10	20

Art.	Heures machine par kg	Capacités machine			
		1	2	3	4
A	1,4	200	200	200	200
B	0,8				

Fig. 16 — Données du problème.

Volume de production (quantité à produire par article)

$$\begin{aligned}
 X_{A,1} - S_{A,1} &= PV_{A,1} - SI_{A,1} + PL_{A,2} = 60 & : C1 \\
 X_{A,2} + S_{A,1} - S_{A,2} &= PV_{A,2} - PL_{A,2} + PL_{A,3} = 140 & : C2 \\
 X_{A,3} + S_{A,2} - S_{A,3} &= PV_{A,3} - PL_{A,3} + PL_{A,4} = 130 & : C3 \\
 X_{A,4} + S_{A,3} - S_{A,4} &= PV_{A,4} - PL_{A,4} + PL_{A,5} = 50 & : C4 \\
 X_{B,1} - S_{B,1} &= PV_{B,1} - SI_{B,1} + PL_{B,2} = 30 & : C5 \\
 X_{B,2} + S_{B,1} - S_{B,2} &= PV_{B,2} - PL_{B,2} + PL_{B,3} = 70 & : C6 \\
 X_{B,3} + S_{B,2} - S_{B,3} &= PV_{B,3} - PL_{B,3} + PL_{B,4} = 70 & : C7 \\
 X_{B,4} + S_{B,3} - S_{B,4} &= PV_{B,4} - PL_{B,4} + PL_{B,5} = 40 & : C8
 \end{aligned}$$

Capacité machine

$$\begin{aligned}
 1,4 X_{A,1} + 0,8 X_{B,1} &\leq 200 & : C 9 \\
 1,4 X_{A,2} + 0,8 X_{B,2} &\leq 200 & : C10 \\
 1,4 X_{A,3} + 0,8 X_{B,3} &\leq 200 & : C11 \\
 1,4 X_{A,4} + 0,8 X_{B,4} &\leq 200 & : C12
 \end{aligned}$$

Fonction économique

Si l'on admet un coût de Fr. 10.— pour le produit A et Fr. 5.— pour le produit B, on obtient :

$$\begin{aligned}
 \text{OBJECTIF} &= 10 S_{A,1} + 10 S_{A,2} + 10 S_{A,3} + 10 S_{A,4} + \\
 &\quad 5 S_{B,1} + 5 S_{B,2} + 5 S_{B,3} + S_{B,4} \quad \text{Minimum}
 \end{aligned}$$

On peut représenter l'ensemble des contraintes sous forme d'une matrice. Nous donnerons un nom à chaque contrainte (lignes) ainsi qu'à chaque variable (colonnes). Ces noms seront repris dans le programme ordinateur (*voir fig. 18, page 34*).

Le langage de programmation utilisé pour résoudre ce problème est le LPS (Linear Programming System); ce langage utilise certaines routines du langage général MPS (Mathematical Programming System). Commentons brièvement les résultats :

Mois	Produit A			Produit B			Prod. totale en heures	Capacité machine en heures	Taux occup.
	Prod. kg	Prod. heures	Stock régul.	Prod. kg	Prod. régul.	Stock heures			
1	60	84	0	142,5	114	112,5	198	200	99 %
2	140	196	0	5	4	47,5	200	200	100 %
3	130	182	0	22,5	18	0	200	200	100 %
4	50	70	0	40	32	0	102	200	50 %

Fig. 17 — Solutions du problème.

On voit que le stock de régulation du produit A est nul durant les 4 mois. Cela signifie que le stock atteindra le point de lancement à la fin de chaque mois.

Quant au produit B, nous obtenons un stock de régulation pour les mois 1 (112,5) et 2 (47,5). Le modèle a choisi de constituer des stocks supplémentaires pour ce produit car il coûte moins cher que A.

CONTRAINTES	VARIABLES																> = <	RHS
	$x_{A,1}$	$x_{A,2}$	$x_{A,3}$	$x_{A,4}$	$s_{A,1}$	$s_{A,2}$	$s_{A,3}$	$s_{A,4}$	$x_{B,1}$	$x_{B,2}$	$x_{B,3}$	$x_{B,4}$	$s_{B,1}$	$s_{B,2}$	$s_{B,3}$	$s_{B,4}$		
OBJECTIF					10	10	10	10					5	5	5	5		MIN
C1	1				-1												=	80
C2		1			1	-1											=	140
C3			1			1	-1										=	12
C4				1			1	-1									=	50
C5									1				-1				=	30
C6										1			1	-1			=	70
C7										1				1	-1		=	70
C8												1			1	-1	=	80
C9	1,4								0,8								$\leq$	200
C10		1,4								0,8							$\leq$	200
C11			1,4								0,8						$\leq$	200
C12				1,4								0,8					$\leq$	200

Fig. 18 — Matrice des contraintes et variables.

Durant les 4 mois, la production nécessaire ne dépasse pas la capacité machine. On constate même que le taux d'occupation n'est pas toujours de 100 % : il est de 99 % pour le mois 1 et de 50 % pour le mois 4.

En résumé, nous voyons que le modèle ci-dessus nous renseigne sur 3 points extrêmement importants :

1. Il nous indique quelle quantité produire pour chaque article. Ces quantités sont telles que nous ne risquons pas de rupture de stock.
2. Nous savons que la capacité machine est suffisante.
3. Les stocks de régulation sont minimum : il n'existe pas d'autres solutions donnant des stocks plus faibles.

2.13 Gestion des matières premières

Nous avons défini tous les éléments pour une gestion cohérente de la production et produits finis. Il va falloir maintenant exploiter ces résultats pour gérer les stocks de matières premières.

ENDATA	INPUT	NAME	EXEMPLE	
	X-A-1	C-1	1.000000	
	X-A-1	C-9	1.400000	
	X-A-2	C-2	1.000000	
	X-A-2	C-10	1.400000	
	X-A-3	C-3	1.000000	
	X-A-3	C-11	1.400000	
	X-A-4	C-4	1.000000	
	X-A-4	C-12	1.400000	
	S-A-1	OBJECTIF	10.000000	
	S-A-1	C-1	-1.000000	
	S-A-1	C-2	1.000000	
	S-A-2	OBJECTIF	10.000000	
	S-A-2	C-1	-1.000000	
	S-A-2	C-3	1.000000	
	S-A-3	OBJECTIF	10.000000	
	S-A-3	C-3	-1.000000	
	S-A-3	C-4	1.000000	
	S-A-4	OBJECTIF	10.000000	
	S-A-4	C-4	-1.000000	
	X-B-1	C-5	1.000000	
	X-B-1	C-9	0.000000	
	X-B-2	C-6	1.000000	
	X-B-2	C-10	0.000000	
	X-B-3	C-7	1.000000	
	X-B-3	C-11	0.000000	
	X-B-4	C-8	1.000000	
	X-B-4	C-12	0.000000	
	S-B-1	OBJECTIF	5.000000	
	S-B-1	C-5	-1.000000	
	S-B-1	C-6	1.000000	
	S-B-2	OBJECTIF	5.000000	
	S-B-2	C-6	-1.000000	
	S-B-2	C-7	1.000000	
	S-B-3	OBJECTIF	5.000000	
	S-B-3	C-7	-1.000000	
	S-B-3	C-8	1.000000	
	S-B-4	OBJECTIF	5.000000	
	S-B-4	C-8	-1.000000	
	FR RHS1	OBJECTIF	0.0	
	FX RHS1	C-1	60.000000	
	FX RHS1	C-2	140.000000	
	FX RHS1	C-3	130.000000	
	FX RHS1	C-4	90.000000	
	FX RHS1	C-5	30.000000	
	FX RHS1	C-6	70.000000	
	FX RHS1	C-7	70.000000	
	FX RHS1	C-8	40.000000	
	UB RHS1	C-9	200.000000	
	UB RHS1	C-10	200.000000	
	UB RHS1	C-11	200.000000	
	UB RHS1	C-12	200.000000	
	ENDATA			

DOWNSIDE OF PROBLEMS

Fig. 19 (pages 35 à 40) — Output ordinateur.

PROBLEM EXAMPLE - CONTINUING

10 ROWS
 6 SELECTED ROWS
 29 VARIABLES
 5 SELECTED COLUMNS
 1 BOUNDS
 0 RHS'S
 0 RANGES
 38 COLUMN ELEMENTS
 2 LOWER BOUND ELEMENTS
 13 UPPER BOUND ELEMENTS
 0 RHS ELEMENTS
 0 RANGE ELEMENTS

NOMBRE DE CONTRAINTES (ROWS),
 VARIABLES ET LIMITES (BOUND)

MOVE

DATA EXEMPLE
 MINIMIZE OBJECTIF
 BOUNDS RHS1

ENDDATA
 SUMMARY

PROGRAMME ECRIT EN LPS

VARIABLE SUMMARY

Column Summary

1	1-1-1	2	1-1-2	3	1-1-3	4	1-1-4
5	1-1-5	6	1-1-6	7	1-1-7	8	1-1-8
9	1-1-9	10	1-1-10	11	1-1-11	12	1-1-12
13	1-1-13	14	1-1-14	15	1-1-15	16	1-1-16

Row Summary

1	C-1	2	C-2	3	C-3	4	C-4
5	C-5	6	C-6	7	C-7	8	C-8
9	C-9	10	C-10	11	C-11	12	C-12
13	C-13	14	C-14	15	C-15	16	C-16

COLUMN SUMMARY : Indique le nombre de contraintes faisant intervenir cette variable

ROW SUMMARY : Indique le nombre de variables utilisées dans la contrainte

PAGE NO. 2
PUN NO. 1

COLUMN ELEMENTS

	GREATER THAN OR EQUAL TO	LESS THAN
4	10.0	100.0
10	1.0	10.0
6	.100000000	1.000000000



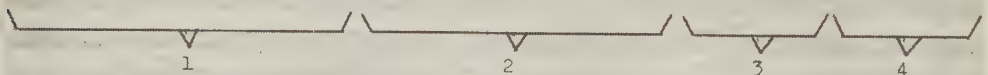
CONTINUATION OF THE TABLE OF ELEMENTS
CONTINUED FROM THE PREVIOUS

LPSOLUTION

ITERATION NUMBER	VALUE OF OBJECTIF	NUMBER INFEAS	SUM OF INFEAS
0	0.0	8	640.034
10	914.286	*0	0.3
12	800.000	0	0.0
SOLUTION OPTIMUM			
ERROR BELOW TOLERANCE			0.000000

ITERATIONS NECESSAIRES
POUR OBTENIR LA SOLUTION
OPTIMALE

VARIABLE	ENTRIES	SOLUTION	UPPER	LOWER	CURRENT	REDUCED
TYPE		ACTIVITY	BOUND	BOUND	COST	COST
X-A-1	P*	2	60.000 *****	0.0	0.0	0.0
C-1	EQ	0	60.000	60.000	0.0	0.0
C-9	P*	9	190.000	200.000	0.0	0.0
X-A-2	P*	2	140.000 *****	0.0	0.0	0.0
C-2	EQ	0	140.000	140.000	0.0	-8.750
C-10	UL	0	230.000	200.000	0.0	-6.250
X-A-3	P*	2	130.000 *****	0.0	0.0	0.0
C-3	EQ	0	130.000	130.000	0.0	-17.500
C-11	UL	0	200.000	200.000	0.0	-12.500
X-A-4	P*	2	50.000 *****	0.0	0.0	0.0
C-4	EQ	0	50.000	50.000	0.0	0.0
C-12	P*	0	100.000	200.000	0.0	0.0
S-A-1	LL	3	0.0 *****	0.0	10.000	-1.250
OBJECTIF	P*	0	800.000 *****	*****	-1.000	1.000
S-A-2	LL	3	0.0 *****	0.0	10.000	-1.250
S-A-3	LL	3	0.0 *****	0.0	10.000	-27.500
S-A-4	LL	2	0.0 *****	0.0	10.000	-10.000
X-B-1	P*	2	142.500 *****	0.0	0.0	0.0
C-5	EQ	0	30.000	30.000	0.0	0.0
X-B-2	P*	2	5.000 *****	0.0	0.0	0.0
C-6	EQ	0	70.000	70.000	0.0	-5.000
X-B-3	P*	2	22.500 *****	0.0	0.0	0.0
C-7	EQ	0	70.000	70.000	0.0	-10.000
X-B-4	P*	2	40.000 *****	0.0	0.0	0.0
C-8	EQ	0	40.000	40.000	0.0	0.0
S-B-1	P*	3	112.500 *****	0.0	5.000	0.0
S-B-2	P*	3	47.500 *****	0.0	5.000	0.0
S-B-3	LL	3	0.0 *****	0.0	5.000	-15.000
S-B-4	LL	2	0.0 *****	0.0	5.000	-5.000



1. SOLUTION OPTIMALE : X = production ; S = stock de régulation
C = contraintes ; OBJECTIF = fonction économique
2. Limites inférieures et supérieures des contraintes et variables. Les *** signifient absence de limite.
3. Coût unitaire de stockage
4. Gain unitaire possible si l'on supprimait les limites

Dans beaucoup d'entreprises, les matières sont gérées indépendamment des produits terminés. Cela provient, en général, de la répartition des responsabilités: le département de l'approvisionnement s'occupe des matières et celui de la production est responsable des autres stocks; la liaison entre ces deux services est souvent mauvaise.

Il faut aussi dire que les ouvrages spécialisés ne développent pratiquement pas ce problème de liaison entre produits finis et matières; ils se basent souvent sur la situation du grossiste où la phase de production n'existe pas.

Nous avons vu, jusqu'à présent, la liaison entre Prévision - Stock - Production; nous développerons maintenant la chaîne suivante qui relie la production aux matières.

2.131 Calcul des besoins

La fonction du calcul des besoins consiste à déterminer les matières et les mi-fabriqués nécessaires à la réalisation du programme de fabrication.

Les quantités nécessaires en mi-fabriqués vont intéresser l'ordonnancement qui a pour tâche de gérer tout le processus de production. En ce qui nous concerne, seuls les besoins en matières premières nous intéressent; ces besoins sont le résultat d'une décomposition complète des produits finis. Lorsque la fabrication est complexe, ce travail de décomposition par niveau peut exiger beaucoup de temps; c'est pourquoi on utilise presque toujours un ordinateur; ce dernier consulte un fichier d'assemblages qui lui permet de dresser la liste de pièces.

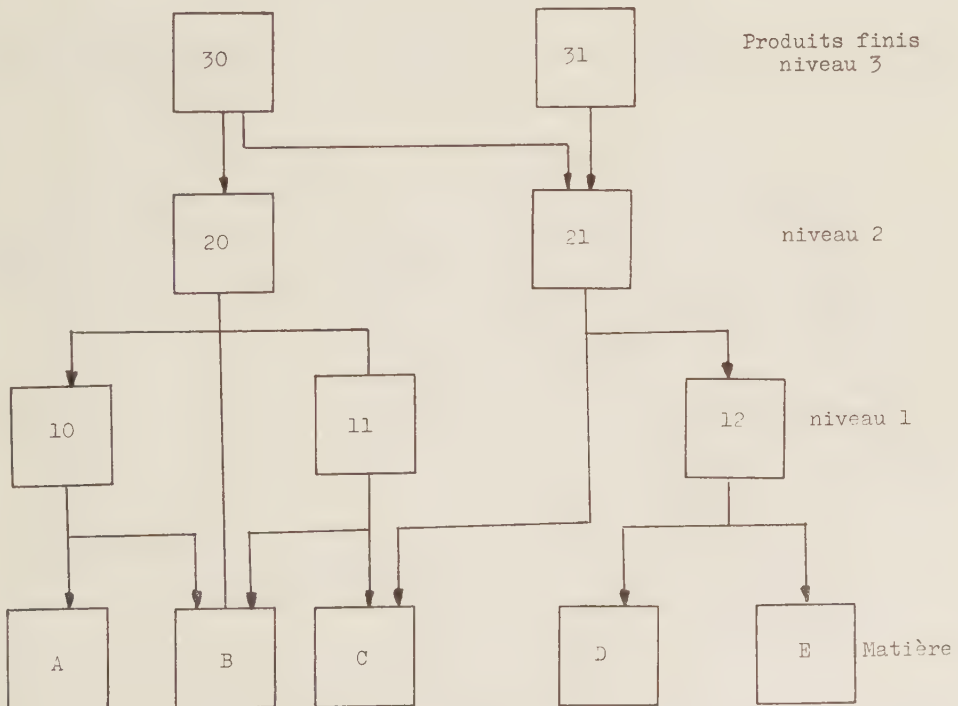


Fig. 20 — Structure des produits 30 et 31.

En reprenant la figure 20, nous pouvons établir le fichier structure de chaque produit :

Produits	Composantes	Proportions
30	20	50 %
	21	50 %
31	21	100 %
20	10	10 %
	11	50 %
	B	40 %
21	12	60 %
	C	40 %
10	A	25 %
	B	75 %
11	B	10 %
	C	90 %
12	D	20 %
	E	80 %

Fig. 21 — Fichier structure des produits.

En prévoyant une production de 2500 kg pour le produit 30 et 1000 kg pour le produit 31 on obtiendra comme besoins matières les valeurs indiquées en fig. 22.

Dans le calcul des besoins nous devons tenir compte de deux éléments importants :

1. *Les stocks d'en-cours* : dans le cas d'une fabrication harmonieuse, c'est-à-dire sans goulot d'étranglement, ces stocks devraient être nuls ou insignifiants. Il se peut aussi que l'ordonnancement ait volontairement constitué de tels stocks afin d'égaliser la charge des ateliers ; on introduira alors, dans le système, des stocks minimum pour chaque période et chaque article mi-fini.

Les besoins nets pour chaque niveau deviennent :

$$(40) \quad \text{BN} = \text{BB} - \text{SE} + \text{SM}$$

BN = besoins nets

BB = besoins bruts

SE = stocks d'en-cours

SM = stocks minimum d'en-cours

2. *Les délais de fabrication* : lorsque la durée de fabrication des produits est assez longue, il y aura décalage dans le temps entre l'utilisation des matières premières et l'entrée en magasin des articles terminés. Il faudra donc tenir compte de ce décalage et avancer dans le temps les besoins matières.

La connaissance des utilisations de matières est extrêmement importante car elle va nous permettre de calculer la quantité économique de commande ainsi que le point de commande.

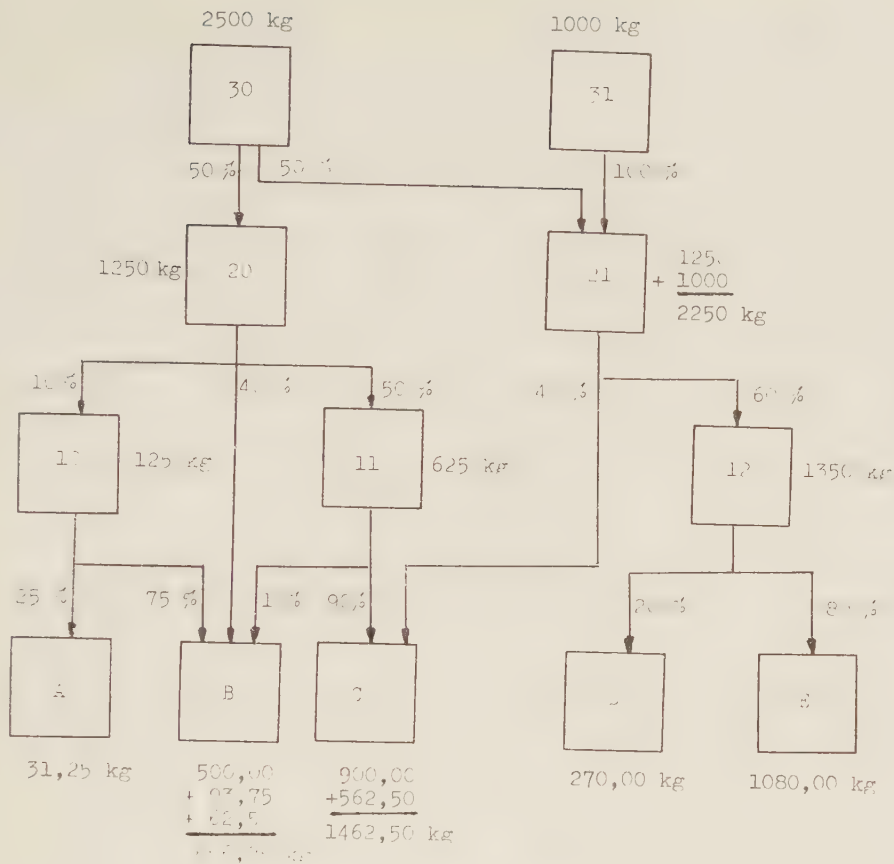


Fig. 22 — Besoins matières.

2.132 Quantité de commande

Il n'est pas indifférent de passer n'importe quelle quantité de commande aux fournisseurs; si cette quantité est trop grande, les stocks moyens vont augmenter; si celle-ci est trop faible, il faudra réapprovisionner souvent d'où augmentation des coûts d'achat. L'Américain Wilson fut le premier à poser la formule du lot optimum de commande. Cette formule est extrêmement connue et son application s'est généralisée dans les entreprises.

En 1958, deux autres Américains Wagner et Whiten ont développé une méthode permettant de trouver une *quantité économique flottante*; ce procédé est beaucoup plus intéressant que le précédent.

2.1321 Formule de Wilson: quantité de commande fixe

Nous allons en rappeler rapidement les grands principes. Cette formule détermine la quantité de commande en fonction de deux coûts:

- a) le coût de *passation de commande* qui augmente en raison inverse de la quantité;
- b) le coût de *stockage* qui est proportionnel à la quantité.

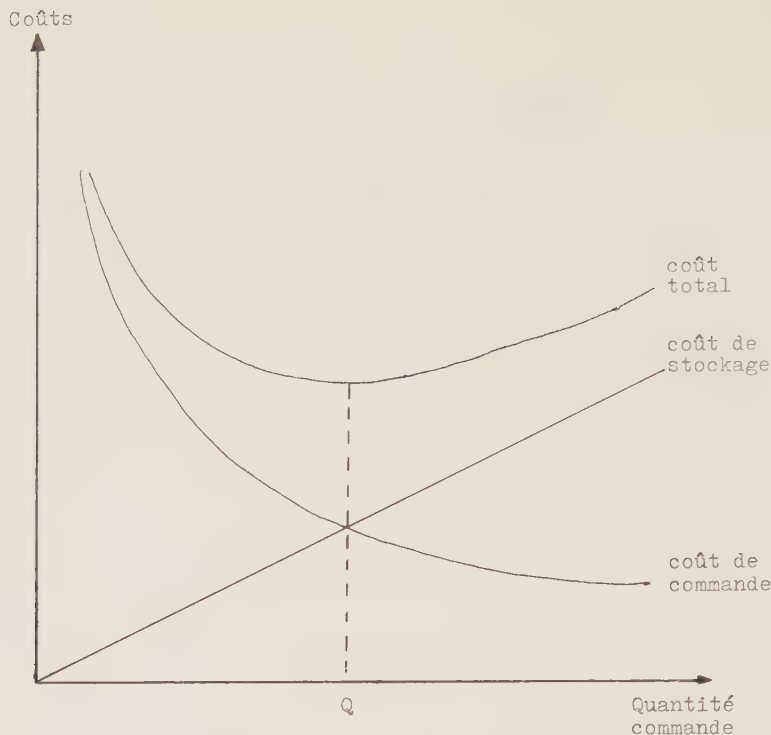


Fig. 23 — Coût total de commande.

$$\text{Coût de commande} = \frac{UM \cdot p}{Q}$$

$$\text{Coût de stockage} = \frac{CU \cdot Q \cdot s}{2}$$

$$\text{Coût total} = \frac{UM \cdot p}{Q} + \frac{CU \cdot Q \cdot s}{2}$$

UM = utilisation annuelle de matières

p = coût de passation de commande

Q = quantité optimum de commande

CU = coût unitaire de l'article

s = coût de stockage pour 1 franc

Pour trouver la quantité optimum, c'est-à-dire le minimum de la courbe du coût total, il suffit de calculer la dérivée de cette courbe et de l'égaliser à zéro. On obtient alors :

$$(41) \quad Q = \sqrt{\frac{2 \cdot UM \cdot p}{CU \cdot s}}$$

Nous ne commenterons pas davantage cette formule car elle se trouve dans tous les ouvrages spécialisés de gestion de stock.

Il nous faut toutefois apporter une précision quant au coût de passation de commande car ce dernier est souvent mal calculé. En général, on détermine ce coût en divisant les frais globaux du service d'approvisionnement par le nombre de commandes annuelles. Le résultat obtenu est alors considéré comme le coût recherché. Ceci est faux parce que les frais du service d'achats sont fixes pour un certain volume d'activité: une commande supplémentaire n'occasionnera pas des frais aussi grands que ceux calculés.

En fait les frais de commandes sont des *coûts marginaux*. Prenons un exemple: les frais d'un service d'achats s'élèvent à Fr. 50 000.— par an pour un nombre de commandes égal à 1000. Dans la situation actuelle le coût est de Fr. 50.— par commande. Pour connaître le coût marginal il suffit de faire varier le nombre de commandes et de supputer les frais d'achats; on constatera que ces frais augmentent par paliers:

Commandes	Frais
500	40 000
750	40 000
1000	50 000
1500	50 000
2000	70 000
3000	70 000
4000	75 000
5000	90 000

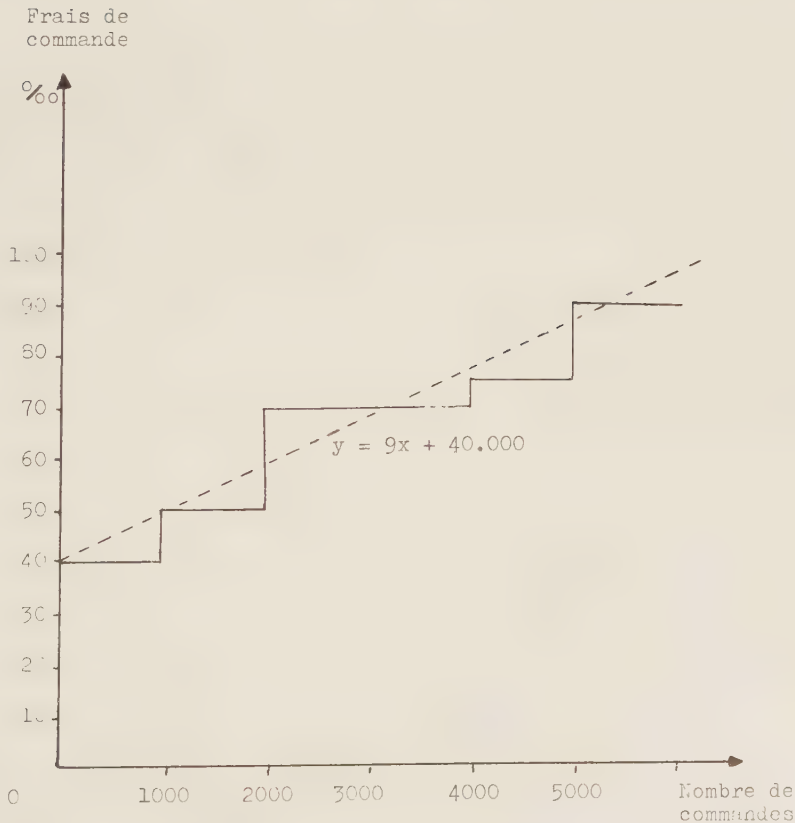


Fig. 24 — Evolution des coûts de commande.

En prenant la dérivée de la fonction linéaire (fig. 24), c'est-à-dire la pente, on obtient le coût marginal approximatif d'une commande supplémentaire. Dans cet exemple, on obtient Fr. 9.— comme coût de commande (alors qu'en divisant les frais actuels par le nombre de réapprovisionnements nous arrivons à Fr. 50.—).

Quant aux coûts de stockage, ils sont représentés par :

a) *la charge financière correspondant au capital immobilisé* : le capital investi dans les stocks pourrait être utilisé ailleurs et devenir productif ; si l'entreprise recherche des capitaux pour procéder à des investissements, elle prendra, comme taux de charge financière, l'accroissement de productivité envisagé par les investissements. On peut aussi raisonner différemment et dire que, avec les capitaux immobilisés, on pourrait rembourser les prêts bancaires occasionnés par les investissements ; dans ce cas, la charge financière correspondra aux taux d'intérêt ;

b) *les frais d'entreposage* : ce coût ne sera pris en considération que s'il existe une autre utilisation possible des locaux. Si l'entrepôt ne peut être vendu, loué ou utilisé à d'autres fins, il s'agit de frais fixes qui n'interviennent pas dans le coût de stockage ;

c) *les frais d'assurances* :

d) *la perte de valeur* : elle provient de l'usure possible, des détériorations et des risques de désuétude.

En pratique, les coûts de stockage correspondent à un taux de 15 à 25 %.

La quantité de commande est fonction encore de deux autres éléments : les *rabais accordés* et les *coûts de transport*. Pour cela on comparera le coût global de gestion pour Q et pour chaque seuil de rabais ; le seuil qui donnera le coût global le plus faible sera choisi comme quantité de commande.

Exemple :

Utilisation annuelle UM = 1800

coût de commande (p) = 5.—

prix d'achat (CU) = 1.—

coût de stockage (s) = 0,20

Rabais: Quantité Prix

500 0,90

750 0,85

1000 0,80

2000 0,70

5000 0,65

$$A. \quad Q = \sqrt{\frac{2 \cdot UM \cdot p}{CU \cdot s}} = \frac{2 \cdot 1800 \cdot 5}{1 \cdot 0,20} = 300$$

$$\text{Nombre de commandes par an (N)} = \frac{UM}{Q} = \frac{1800}{300} = 6$$

B. Choix de la quantité de commande en fonction des rabais

Q	Valeur utilisation			Coût commande			Coût stockage				Coût total
	UM	prix	valeur	N	p	valeur	Q/2	prix	s	valeur	
	1	2	$\frac{3}{1.2}$	4	5	$\frac{6}{4.5}$	7	8	9	$\frac{10}{7.8.9}$	
300	1800	1.—	1800	6,0	5.—	30,0	150	1.—	0,20	30,00	1860,00
500	1800	0,90	1620	3,6	5.—	18,0	250	0,90	0,20	45,00	1683,00
750	1800	0,85	1530	2,4	5.—	12,0	375	0,85	0,20	63,75	1605,75
1000	1800	0,80	1440	1,8	5.—	9,0	500	0,80	0,20	80,00	1529,00
2000	1800	0,70	1260	0,9	5.—	4,5	1000	0,70	0,20	140,00	1404,50
5000	1800	0,65	1170	0,36	5.—	1,8	2500	0,65	0,20	325,00	1496,80

Fig. 25 — Calcul de Q en fonction des rabais.

La figure 25 nous montre qu'il faut commander 2000 unités. Le gain annuel obtenu par rapport à la quantité optimum de base (300) est de Fr. 1860,00 — 1404,50 = Fr. 455,50.

2.1322 Quantité économique flottante

Avec la formule de Wilson, la quantité de commande est fixe durant toute l'année. Ceci est ennuyeux lorsque les utilisations sont saisonnières parce que les durées de stockage vont fluctuer d'un mois à l'autre. La formule Wilson ne donne plus un optimum car le stock moyen va s'éloigner de Q/2.

Prenons le cas d'un article dont la quantité de commande est 1000 et l'utilisation annuelle 2000. Si les sorties s'effectuent sur les 6 derniers mois de l'année, il y aura stockage excessif en début d'année.

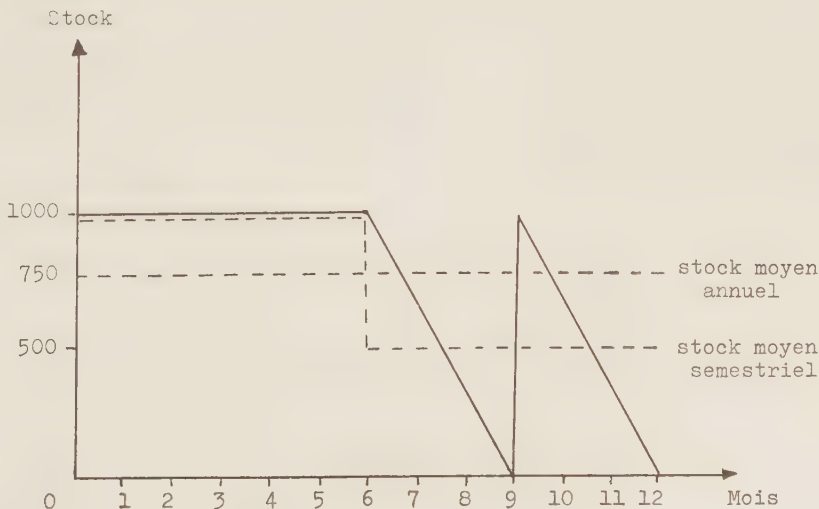


Fig. 26 — Evolution du stock moyen.

La figure 26 nous montre que le stock moyen (en faisant abstraction d'un stock de sécurité) n'est plus de $Q/2$ c'est-à-dire 500, mais de 750 (1000 pour les six premiers mois et 500 pour les six derniers mois).

Comme la formule de Wilson prend, pour hypothèse, dans le calcul du coût de stockage: $\frac{Q}{2} \cdot CU \cdot s$, on n'obtient plus un optimum.

Ce système choisit, comme quantité de commande, l'utilisation prévue de la première période, puis des deux premières périodes cumulées, et ainsi de suite jusqu'à ce que le coût total de gestion soit minimum. Ce coût se calcule de la façon suivante:

$$(42) \quad \text{Coût} = \frac{\text{Frais de commande} + \text{Coût de stockage}}{\text{Utilisation de la période ou cumul}}$$

c'est-à-dire:

$$(43) \quad 1^{\text{re}} \text{ période:} \quad CC_1 = \frac{p + (UM_1 \cdot CU \cdot s \cdot 0)}{UM_1}$$

$$(44) \quad 1 + 2 \text{ périodes:} \quad CC_2 = \frac{p + (UM_1 \cdot CU \cdot s \cdot 0) + (UM_2 \cdot CU \cdot s \cdot 1)}{UM_1 + UM_2}$$

$$(45) \quad 1 \text{ à } n \text{ périodes:} \quad CC_n = \frac{p + (UM_1 \cdot CU \cdot s \cdot 0) + \dots + (UM_n \cdot CU \cdot s \cdot (n-1))}{\underbrace{UM_1 + \dots + UM_n}_Q}$$

CC = coût total

p = coût de passation de commande

s = coût de stockage par franc et par période: si le taux annuel est de 24 %, il sera de 2 % par mois

CU = coût unitaire de l'article

UM = utilisation pour une période

On constate que, pour la première période, le coût de stockage est nul ($UM_1 \cdot CU \cdot s \cdot 0$); ceci provient du fait que la quantité commandée sera consommée immédiatement.

Exemple:

Période = la quinzaine

Utilisation par quinzaine:

prix d'achat (CU) = Fr. 2.—

$UM_1 = 50$

coût commande = Fr. 10.—

$UM_2 = 40$

coût stockage = 2 % = 0,02

$UM_3 = 60$

$UM_4 = 40$

$$\text{période 1:} \quad CC_1 = \frac{10 + (50 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 0)}{50} = 0,2$$

$$\text{périodes 1 + 2:} \quad CC_2 = \frac{10 + 0 + (40 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 1)}{50 + 40} = 0,129$$

$$\begin{aligned} \text{périodes 1 à 3:} \quad CC_3 &= \frac{10 + 0 + (40 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 1)}{50 + 40 + 60} + \\ &+ \frac{(60 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 2)}{50 + 40 + 60} = 0,109 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{périodes 1 à 4: } CC_4 &= \frac{10 + 0 + (40 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 1)}{50 + 40 + 60 + 40} + \\ &+ \frac{(60 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 2) + (40 \cdot 2 \cdot 0,02 \cdot 3)}{50 + 40 + 60 + 40} = 0,118 \end{aligned}$$

Cet exemple montre que c'est en cumulant les 3 premières périodes que l'on obtient le coût minimum: la quantité de commande est égale à $50 + 40 + 60 = 150$.

L'utilisation de cette méthode n'est possible que si les besoins sont connus pour les périodes futures. Dans notre modèle, ces besoins sont connus par la décomposition des programmes de fabrication.

Nous n'avons pas développé dans ce chapitre toutes les techniques permettant de calculer une quantité de commande. Nous aurions pu introduire d'autres paramètres tels les coûts de pénurie et parler aussi des systèmes de réapprovisionnement à période fixe. Nous les avons ignorés parce qu'ils sont largement commentés dans les ouvrages spécialisés; d'autre part, nous pensons que la méthode de Wagner et Whiten correspond le mieux à notre type de problème.

2.133 Points de commande

Nous avons décrit comment on calcule le point de lancement pour les produits finis: il se compose d'un stock de sécurité + vente moyenne durant le délai de fabrication.

Pour les matières premières, le point de commande se compose des mêmes éléments mais l'un d'eux est calculé différemment: l'utilisation moyenne n'est pas déterminée sur la base d'un historique comme c'était le cas pour les produits finis; elle dépend, au contraire, de la décomposition de la production. Evidemment nous pourrions aussi partir de l'historique mais nous perdriions alors l'avantage que constitue la connaissance de la production. Puisque nous calculons cette utilisation sur la base d'un avenir, nous pouvons nous contenter d'un niveau de sécurité plus faible, donc de stocks relativement bas.

Nous pourrions éventuellement être tenté de supprimer le stock de sécurité; cela est impossible car il subsiste un risque constitué par la *non-linéarité* des utilisations à l'intérieur de la période: si, par exemple, on a prévu une utilisation de 1000 durant la période 1 et de 2000 durant la période 2, il se peut que l'accroissement des besoins se fasse déjà progressivement sur la période 1. Nous ne connaissons donc pas les variations d'utilisation à l'intérieur d'une période: l'incertitude est d'autant plus grande que la période choisie est longue.

Prenons un exemple:

- besoins pour la quinzaine 1 = 1000
- besoins pour la quinzaine 2 = 2000
- besoins pour la quinzaine 3 = 4000 (voir fig. 27, page 50).

Si l'on avait choisi des périodes d'une semaine on aurait obtenu par exemple:

- 1^{re} semaine: 250
- 2^e semaine: 750 > 1000 = quinzaine 1
- 3^e semaine: 1500
- 4^e semaine: 500 > 2000 = quinzaine 2
- 5^e semaine: 1000
- 6^e semaine: 3000 > 4000 = quinzaine 3

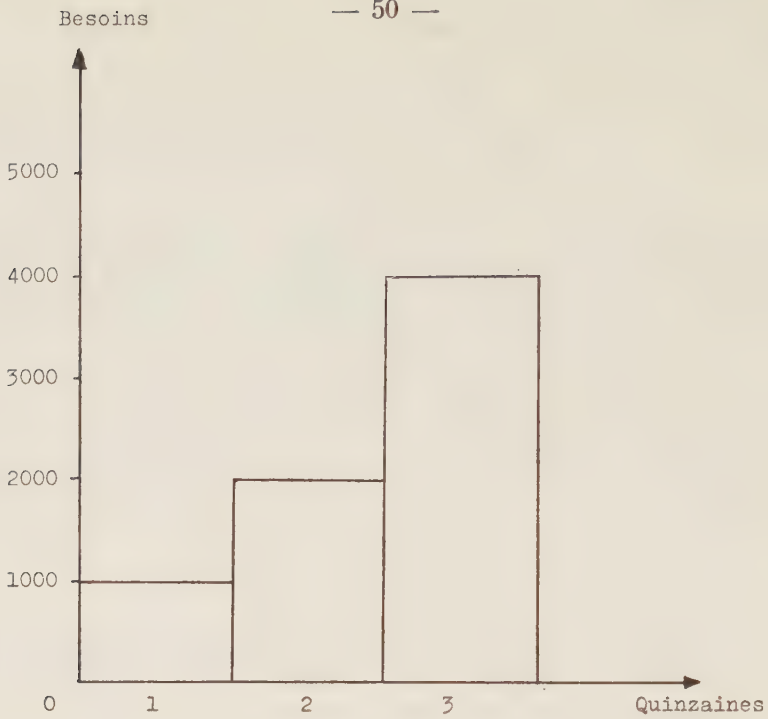


Fig. 27 — Besoins par quinzaine.

En reportant sur un graphique (fig. 28) les besoins par semaine on obtient une image toute différente de celle de la figure 27:

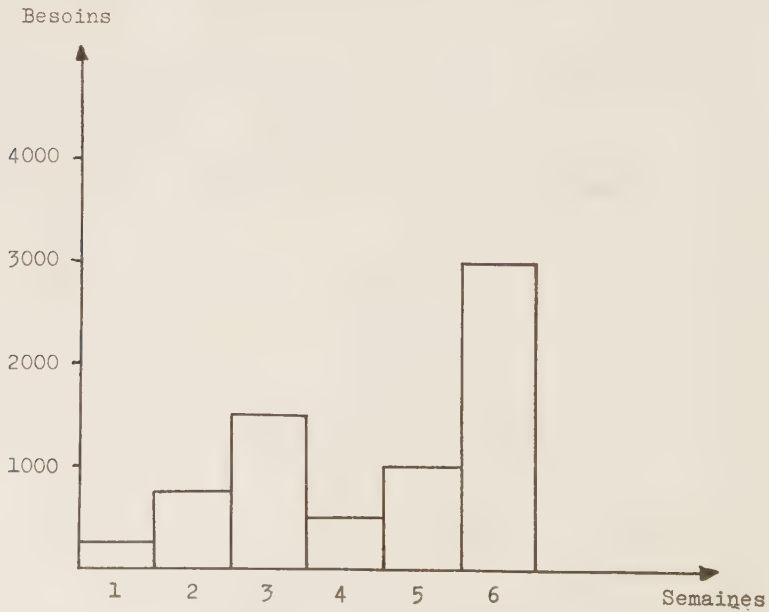


Fig. 28 — Besoins par semaine.

On voit que, en comparant les figures 27 et 28, les utilisations ne sont pas linéaires : cette non-linéarité rend nécessaire un stock de sécurité ; ceci est valable même si les besoins prévus correspondent exactement à la réalité.

Reprenons l'exemple précédent. Si l'on admet un délai de livraison de 2 semaines on obtiendra comme points de commande :

1^{re} quinzaine : $PM = 2000$

$$PM_m = BN_{m+1}$$

2^e quinzaine : $PM = 4000$

BN = besoins pour une période

Si l'on admet maintenant que les besoins prévus correspondent aux utilisations effectives, nous aurons une rupture de stock malgré que l'on ait calculé le point de commande correctement. Examinons l'évolution du stock sur deux quinzaines ; nous avons admis un stock initial de 2500 et une quantité de commande de 5000 :

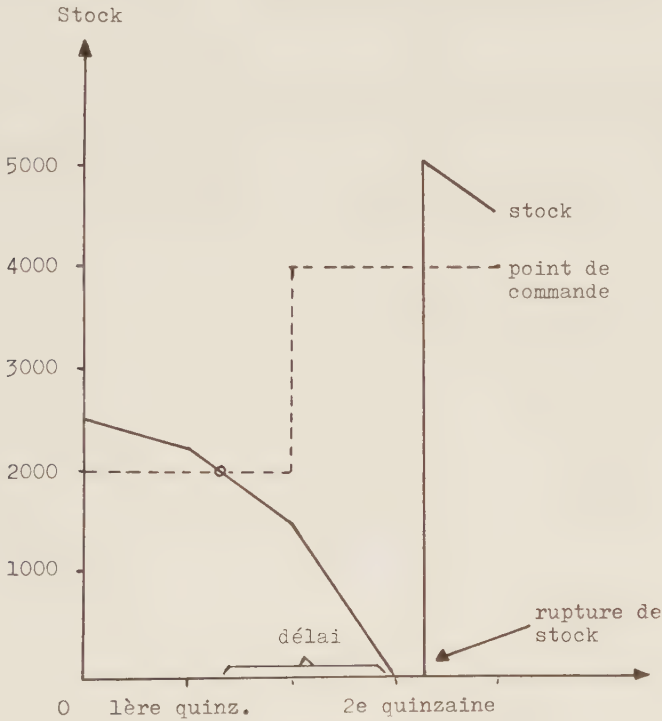


Fig. 29 — Evolution du stock.

L'exemple précédent illustre bien le fait qu'une rupture est possible même si l'avenir est connu avec certitude. C'est pourquoi un stock de sécurité sera toujours nécessaire. Rappelons comment ce dernier se calcule :

$$(46) \quad SSM = K \cdot E$$

SSM = stock de sécurité matières

K = coefficient (voir formule 11)

E = écart-type (ou MAD)

On obtient le point de commande de la façon suivante:

$$(47) \quad PM = SSM + BND$$

PM = point de commande matières

SSM = stock de sécurité matières

BND = utilisation prévue durant le délai de livraison

Les besoins sont connus sur la base de la décomposition des programmes de production. Si le délai correspond à une période (de décomposition) on prendra, comme valeur, l'utilisation de la période suivante:

Délai	BND
0,5	$BN_{m+1} \cdot 0,5$
1	BN_{m+1}
2	$BN_{m+1} + BN_{m+2}$
2,5	$BN_{m+1} + BN_{m+2} + BN_{m+3} \cdot 0,5$
etc.	

On constate qu'il y a toujours décalage d'une période dans le calcul des besoins; ceci est très important si l'on veut éviter un nouveau risque de rupture: nous insistons sur ce point car aucun modèle de stock ne tient compte de ce décalage. Nous allons illustrer par un exemple un cas de rupture de stock. Pour des raisons de simplification, nous n'avons pas tenu compte du stock de sécurité.

Exemple:

Délai = 2 périodes, stock initial (SI) = 800, Q = 1000

Périodes	Utilisations	PM sans décalage	PM avec décalage
1	200	$200 + 400 = 600$	$400 + 600 = 1000$
2	400	$400 + 600 = 1000$	$600 + 700 = 1300$
3	600	$600 + 700 = 1300$	$700 + 600 = 1300$
4	700	$700 + 600 = 1300$	$600 + 600 = 1200$
5	600		
6	600		

Fig. 30 — Calcul du point de commande.

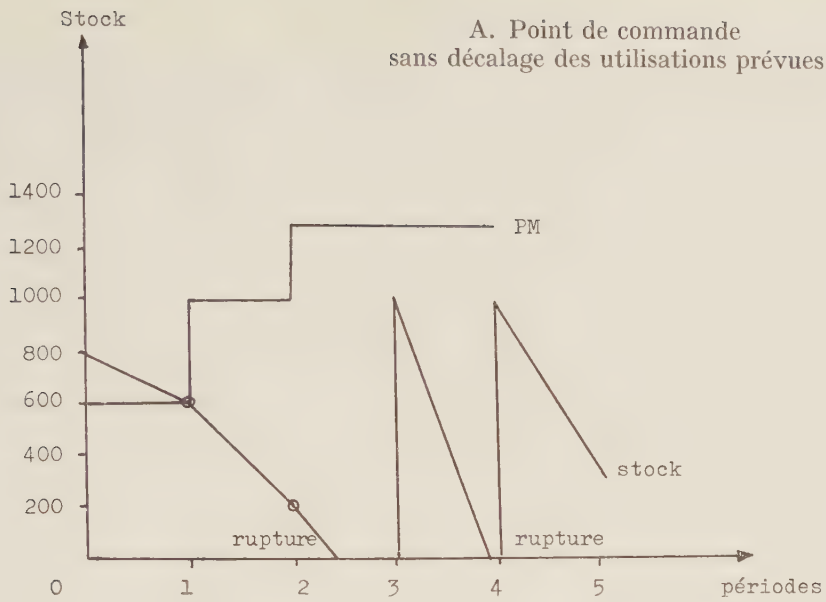


Fig. 31 — Evolution du stock avec PM non décalé.

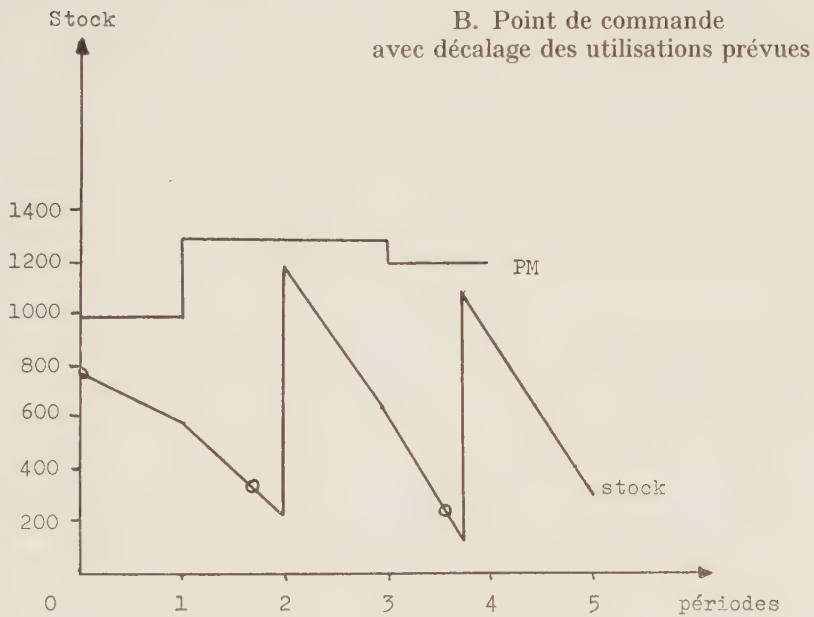


Fig. 32 — Evolution du stock avec PM décalé.

Remarque : le déclenchement de la commande se fait en comparant le point de commande (PM) avec le stock + en commande. Si stock + en commande < PM, il faut commander.

2.2 Phase de révision

La phase d'initialisation que nous venons d'analyser est exécutée une fois par an. Nous avons vu que le système repose essentiellement sur les prévisions de vente : ces dernières sont le point de départ de la calculation de tous les paramètres. Or, quelle que soit la qualité de ces prévisions, il y a toujours des écarts par rapport à la réalité. Ces écarts doivent être pris en charge périodiquement ; c'est le but de la phase de révision.

On parle de révision parce que les paramètres ne sont pas recalculés. Par exemple, les prévisions seront modifiées sur la base des ventes effectives, mais les produits ne subiront pas une reclassification complète (trend, saisonnier, etc.) ; cette façon de procéder est logique parce que, après un mois, l'écart entre prévision et réalité n'est pas suffisamment significatif : il est impossible d'affirmer que le produit a changé de tendance. Par contre, la vente effective nous dira dans quelle mesure nous devons ajuster les paramètres de base pour qu'ils reflètent mieux la réalité ; par exemple, pour les produits à tendance, on modifiera légèrement le trend.

La plupart des techniques d'ajustement utilisent le lissage exponentiel ; son avantage est double :

1. il est d'une utilisation simple ;
2. il exige la conservation d'un volume limité d'informations.

Nous verrons que tous les paramètres ne sont pas réajustés ; certains doivent être recalculés : c'est le cas pour l'optimisation de la production (dans tous les cas d'optimisation, lorsqu'un seul paramètre change, il est nécessaire de tout recalculer).

La figure 33, ci-contre, schématise tout le processus de révision.

2.21 Lissage des prévisions de vente

2.211 Lissage exponentiel simple

Le but de cette technique consiste à modifier la prévision suivante d'une partie de l'écart entre la prévision et la réalisation de la période écoulée :

$$\text{Nouvelle prévision} = \text{Ancienne prévision} + \alpha (\text{Vente effective} - \text{Ancienne prévision})$$

ou

$$(48) \quad PV_m = PV_{m-1} + \alpha (VE_{m-1} - PV_{m-1})$$

PV = prévision de vente

VE = vente effective

m = mois

α = coefficient de lissage ($0 \leq \alpha \leq 1$)

On voit que l'ajustement des prévisions dépend de la valeur donnée à α . Si $\alpha = 1$ (ce qui en pratique n'est jamais le cas), l'écart entre prévision et réalisation est intégralement reporté sur la nouvelle prévision. Par contre, si $\alpha = 0,1$, on ne reportera que le 10 % de cet écart.

On voit aisément l'avantage d'une telle méthode : le nombre d'informations à mémoriser est extrêmement faible : il suffit de conserver la prévision de la période écoulée (PV_{m-1}), les autres informations étant connues au moment du lissage.

Par contre, cette méthode est assez arbitraire car on ne connaît pas exactement la valeur de α . Dans les modèles de gestion de stock on attribue, en général, une valeur de 0,1 à α . Nous verrons dans un prochain paragraphe comment calculer α d'une manière plus objective.

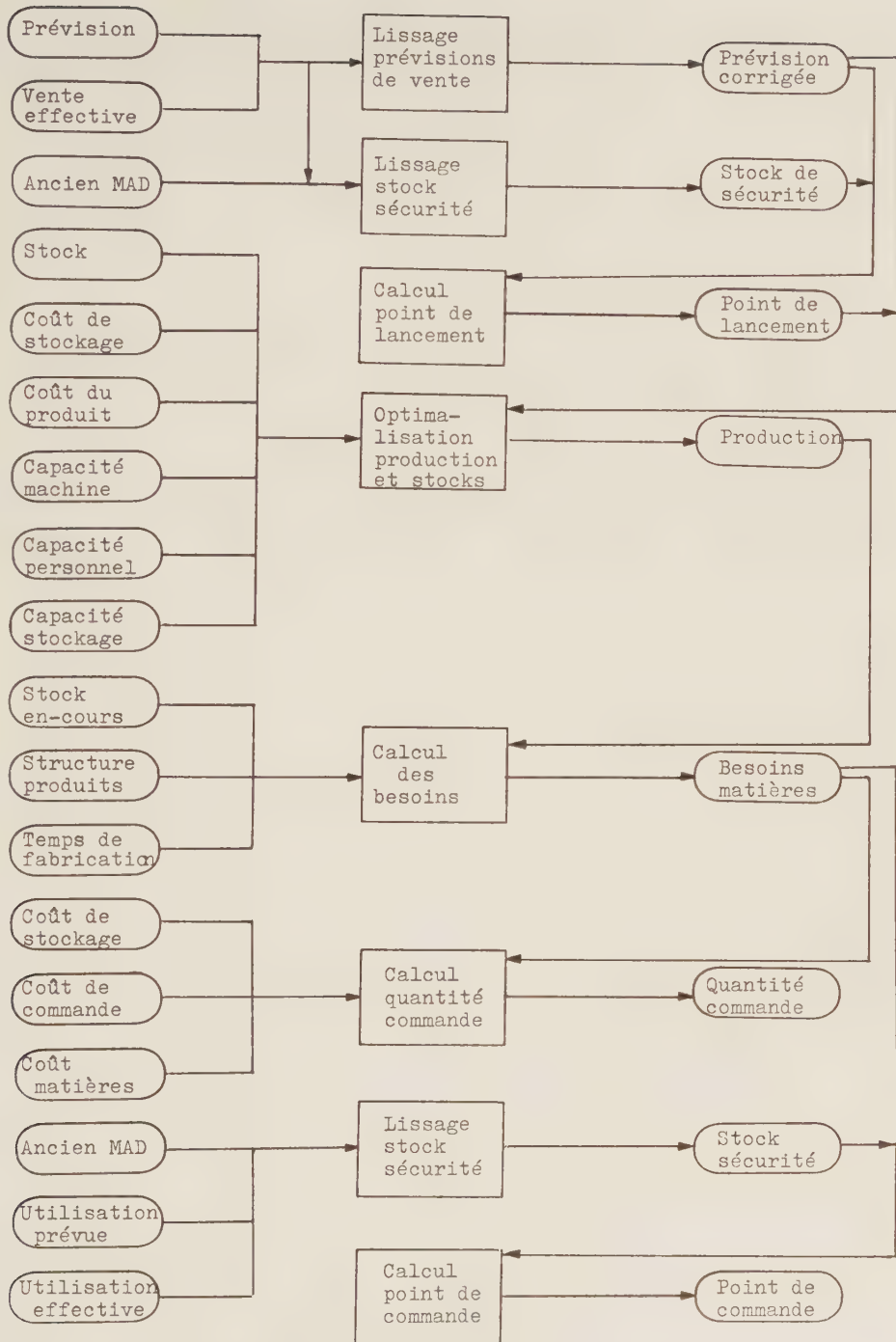


Fig. 33 — Schéma général de la phase de révision.

Cette formule a aussi un inconvénient majeur: elle ne permet de réajuster que la période suivante. Or, pour notre modèle, il est indispensable de connaître en permanence les prévisions pour les 12 mois qui suivent. C'est pourquoi nous utiliserons une autre technique que nous avons appelée méthode à double coefficient de lissage.

2.212 Méthode à double coefficient de lissage

Avec cette méthode α est le résultat du produit de deux coefficients:

$$(49) \quad \alpha = \alpha' \beta^{j-1}$$

α' = nouveau coefficient de lissage ($0 \leq \alpha \leq 1$)

β = coefficient de pondération ($0 < \beta < 1$)

J = période

Le coefficient α' indique la part de l'écart entre prévision et réalisation qu'il faut prendre pour la première période. Pour le premier mois nous aurons:

$$\alpha = \alpha' \cdot \beta^{1-1} = \alpha' \cdot \beta^0 = \alpha' \cdot 1$$

$$\alpha = \alpha'$$

Le coefficient β^{j-1} indique (par rapport à α) la fraction de l'écart à prendre en considération pour les périodes suivantes. Cette part est dégressive parce que $\beta < 1$.

Période (J)	β	β^{J-1}
1	0,9	1
2	0,9	0,9
3	0,9	0,81
4	0,9	0,73
5	0,9	0,66
etc.		

Cette méthode à double coefficient est plus intéressante que le lissage exponentiel simple pour deux raisons majeures :

1. l'ajustement porte sur 12 mois;
2. on peut modifier l'ajustement dans le temps en faisant varier β .

La formule de calcul se présente de la façon suivante:

$$(50) \quad PV_J = PV_{m-1} + \alpha\beta^{J-1} (VE_{m-1} - PV_{m-1})$$

PV = prévision de vente

m = mois en cours

VE = ¹vente effective

$m-1$ = mois écoulé

 α = coefficient de lissage

J = périodes (de 1 à 12) à partir

β = coefficient de pondération

du mois m.

Prenons un exemple et calculons les nouvelles prévisions. Il s'agit d'un article classé comme *constant*:

$$PV_{m-1} = 1000$$

$\alpha = 0.5$

$$VE_{m-1} = 1100$$

$\beta = 0.90$

$$\text{PV (février)} = 1000 + 0,500 (1100 - 1000) = 1050,00$$

$$\text{PV (mars)} = 1000 + 0,450 (1100 - 1000) = 1045,00$$

$$\text{PV (avril)} = 1000 + 0,405 (1100 - 1000) = 1040,50$$

$$PV(\text{mai}) = 1000 + 0,365 (1100 - 1000) = 1036,50$$

$$PV(\text{juin}) = 1000 + 0,330 (1100 - 1000) = 1033,00$$

PV (juillet)	=	$1000 + 0,295 (1100-1000)$	=	1029,50
PV (août)	=	$1000 + 0,265 (1100-1000)$	=	1026,50
PV (sept.)	=	$1000 + 0,240 (1100-1000)$	=	1024,50
PV (octobre)	=	$1000 + 0,215 (1100-1000)$	=	1021,50
PV (nov.)	=	$1000 + 0,195 (1100-1000)$	=	1019,50
PV (déc.)	=	$1000 + 0,175 (1100-1000)$	=	1017,50
PV (janvier)	=	$1000 + 0,155 (1100-1000)$	=	1015,50

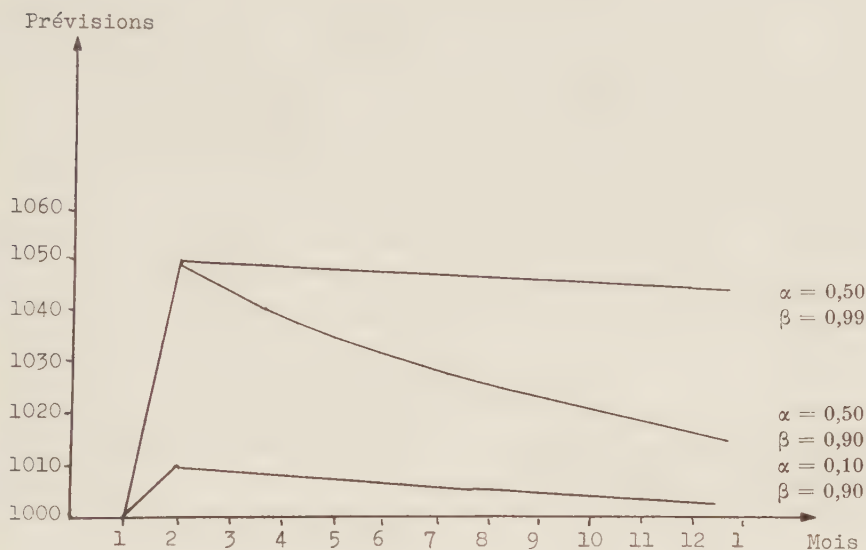


Fig. 34 — Evolution des prévisions en fonction de α et β .

La figure 34 nous montre que l'ajustement des prévisions n'est pas linéaire. La pente de la courbe dépend de la valeur donnée à β . Si β était égal à 1, nous obtiendrions une droite (prévision de 1050 pour les 12 mois). En réalité β est toujours < 1 car on cherche à ramener les prévisions à leur valeur de base (1000). Ceci est logique : cette valeur de base est, à long terme, la plus juste car elle résulte de la confrontation de dizaines d'historiques ; par contre, les prévisions modifiées sont la conséquence d'une seule valeur : les ventes effectives du mois précédent. C'est une des raisons pour lesquelles on attribue toujours à α une valeur faible ($< 0,5$). D'autre part, les ventes peuvent s'écarter de la moyenne pour une cause tout à fait accidentelle (annonce d'une hausse des prix par exemple) : la hausse peut être suivie d'une baisse. Si les corrections étaient trop brutales, nous aurions des écarts de prévisions très importants d'un mois à l'autre, ce qui enlèverait toute crédibilité au système.

Evidemment, on peut se poser la question de savoir s'il vaut la peine de modifier les prévisions. A notre avis, l'ajustement est nécessaire car on ne sait pas sur le moment si l'écart est accidentel ou signifie un changement de tendance ; cette dernière possibilité n'étant pas exclue il faut corriger la tendance mais dans une mesure très faible. La plupart des systèmes existants ont recours à des *signaux d'alarme* : lorsque les prévisions s'écartent fortement des ventes, et ceci durant plusieurs périodes, un signal se déclenche ; les produits en question doivent être réinitialisés, c'est-à-dire reclassés.

Nous avons analysé uniquement le cas des produits constants. Examinons maintenant les articles saisonniers et ceux avec un trend.

A. Produits saisonniers

Pour calculer les nouvelles prévisions nous allons désaisonnaliser les ventes effectives et les prévisions; on procède de cette façon parce que l'on considère cet écart comme un écart de tendance et non de saisonnalité: le coefficient saisonnier calculé en début d'année n'est donc pas touché. (Dans le système IMPACT, les index saisonniers sont lissés avec un coefficient α de 0,5).

Posons la formule de lissage pour les articles saisonniers:

$$(51) \quad PVD_J = \frac{1}{BI_{m-1}} \left[PV_{m-1} + \alpha \beta^{J-1} (VE_{m-1} - PV_{m-1}) \right]$$

PVD = prévision désaisonnalisée	m = mois courant
PV = prévision de vente	m-1 = mois écoulé
BI = index saisonnier	J = périodes (de 1 à 12)
VE = vente effective	

Nous devons calculer maintenant les prévisions en tenant compte des index saisonniers:

$$(52) \quad PV_J = PVD_J \cdot BI_J$$

B. Produits avec trend

L'ajustement comporte deux phases: tout d'abord il faut corriger le trend et ensuite recalculer les nouvelles prévisions:

$$(53) \quad a_J = a_{m-1} + \alpha \beta^{J-1} (VE_{m-1} - PV_{m-1})$$

a = trend

$$(54) \quad PV_J = PV_{m-1} + \sum_{1}^J a_J$$

C. Produits saisonniers avec trend

Il faut d'abord ajuster le trend mais en travaillant sur des valeurs désaisonnalisées. Ensuite on détermine les prévisions désaisonnalisées; enfin, on calcule les nouvelles prévisions en tenant compte du trend corrigé et des index saisonniers (non modifiés).

$$(55) \quad a_J = a_{m-1} + \alpha \beta^{J-1} \frac{(VE_{m-1} - PV_{m-1})}{BI_{m-1}}$$

$$(56) \quad PVD_J = \frac{1}{BI_{m-1}} \left[PV_{m-1} + \alpha \beta^{J-1} (VE_{m-1} - PV_{m-1}) \right]$$

$$(57) \quad PV_J = (PVD_J + \sum_{1}^J a_J) BI_J$$

Pour faciliter la compréhension, nous avons établi (fig. 35) un organigramme résumant tous les ajustements; ce dernier a été utilisé pour écrire un programme ordinateur avec lequel nous avons effectué des essais (voir fig. 35, page 59).

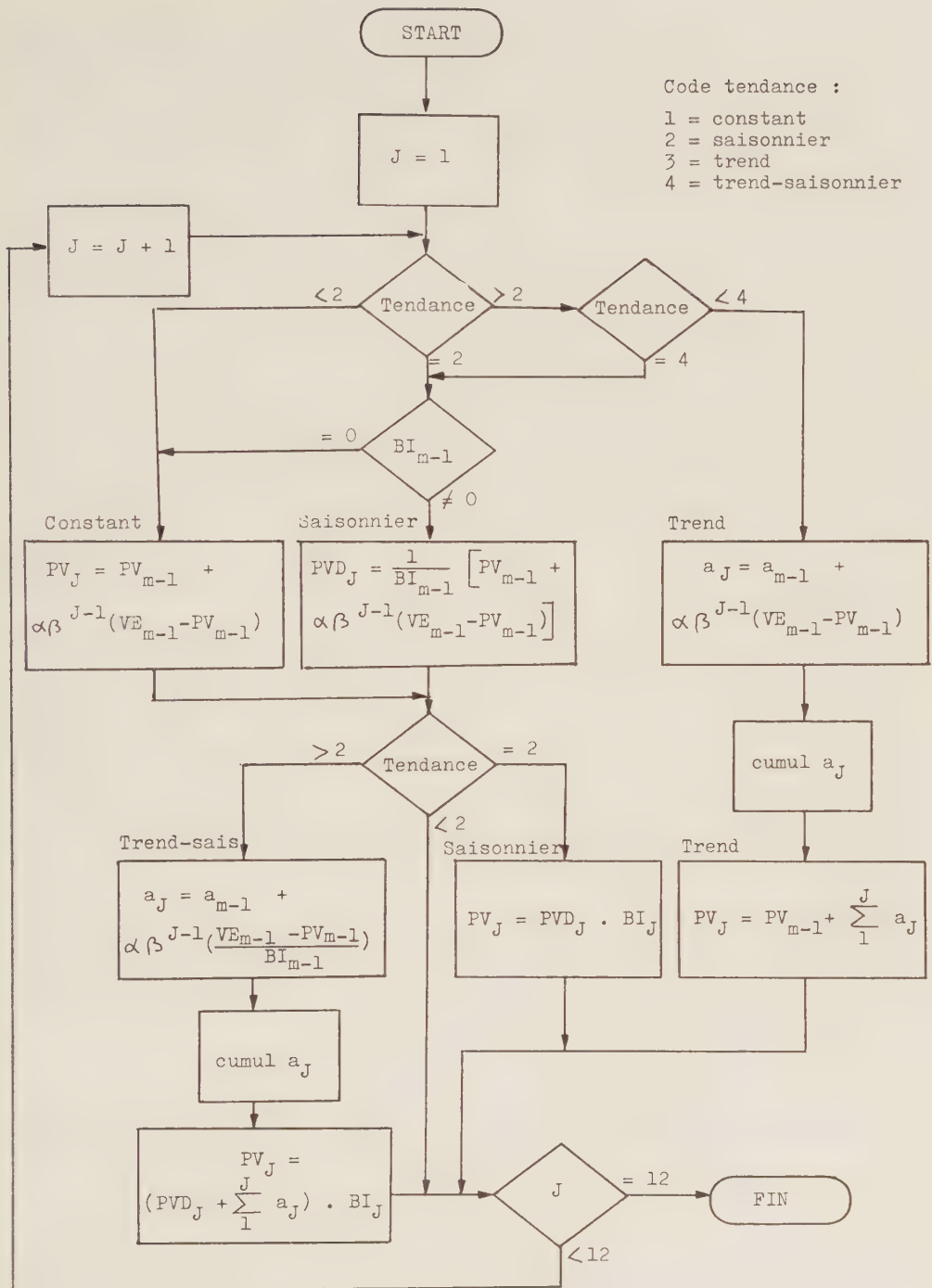


Fig. 35 — Organigramme d'ajustement des prévisions de vente.

2.213 Choix de α et β .

La qualité de l'ajustement va dépendre essentiellement de la valeur attribuée aux deux coefficients. Si l'on donne à α une valeur élevée, la prise en charge de l'écart sur les prévisions sera importante. Or, comme cet écart a souvent des causes accidentelles, il faut éviter de donner à α trop d'importance afin de limiter les ajustements.

Quel est alors le critère à adopter? De nombreux essais ont été entrepris dans diverses sociétés de distributions; il est apparu que 0,1 constituait la constante la plus efficace. En fait il existe un critère pour fixer un ordre de grandeur d' α : l'écart-type ou MAD.

Si ce dernier est grand, cela signifie que les ventes sont très dispersées autour de la moyenne: les écarts entre prévisions et ventes ne signalent pas un changement de tendance, mais sont dus à la dispersion. Dans ce cas, le coefficient α doit être très faible pour que l'incidence sur les nouvelles prévisions soit limitée.

Si l'écart-type est petit, nous avons à faire à des ventes très régulières et proches de la moyenne; dans ce cas, tout écart devient significatif d'un changement de tendance; il faut, en conséquence, modifier énergiquement les nouvelles prévisions d'où α élevé.

Quant à β , il va varier en raison inverse de α ; ceci est logique car, si l'on a un α élevé donc des ajustements importants, il faudra ramener assez rapidement les nouvelles prévisions vers la moyenne initiale: donc β doit être relativement faible. Toutefois β doit varier dans des limites beaucoup plus étroites que α (par exemple entre 0,92 et 0,99).

Remarque: en pratique on choisira α et β non pas sur la base de l'écart-type seul, mais d'après le rapport écart-type/moyenne.

2.22 Lissage du stock de sécurité

Le stock de sécurité est calculé sur la base de l'écart-type ou MAD; il dépend donc de la dispersion des ventes autour de la moyenne. Si les ventes s'écartent trop des prévisions, cela peut signifier que le MAD calculé est insuffisant. En général, les modèles de lissage partent du principe suivant: si l'écart (entre prévision et réalisation) est égal à 1 MAD, il n'y a rien à corriger; si celui-ci est inférieur, on peut réduire MAD et, dans le cas contraire, l'augmenter. La formule de lissage devient alors:

$$(58) \quad \text{MAD}_m = \text{MAD}_{m-1} + \alpha (| \text{VE}_{m-1} - \text{PV}_{m-1} | - \text{MAD}_{m-1})$$

Exemple:

$$\begin{aligned} \text{écart absolu moyen (MAD}_{m-1}) &= 100 \\ \text{ventes effectives (VE}_{m-1}) &= 1000 \\ \text{prévision de vente (PV}_{m-1}) &= 1200 \\ \text{coefficient de lissage } (\alpha) &= 0,1 \end{aligned}$$

$$\text{MAD}_m = 100 + 0,1 (| 1000 - 1200 | - 100) = 110$$

La formule 58 est aussi applicable pour les produits avec trend. Pour les articles saisonniers, il faut désaisonnaliser les prévisions et les ventes:

$$(59) \quad \text{MAD}_m = \text{MAD}_{m-1} + \alpha \left(\left| \frac{\text{VE}_{m-1} - \text{PV}_{m-1}}{\text{BI}_{m-1}} \right| - \text{MAD}_{m-1} \right)$$

Une fois MAD connu, il est aisé de recalculer le stock de sécurité; il suffit de multiplier MAD par le coefficient K:

$$(60) \quad \text{SSM} = \text{MAD}_m \cdot K$$

SSM = stock de sécurité matières

K = coefficient de probabilité

Après avoir ajusté les prévisions et le stock de sécurité, il est nécessaire de recalculer les autres éléments de la chaîne, à savoir :

a) *le point de lancement* (voir 2.123) : il se composera du nouveau stock de sécurité et des prévisions pour une période de fabrication (PVF_m) ;

b) *l'optimisation de la production et des stocks* (voir 2.124) : il est nécessaire de tout recalculer à chaque période à cause des changements dans les stocks, les prévisions et les points de lancement ;

c) *le calcul des besoins* (voir 2.131) : ce travail de décomposition est très complexe et nécessite souvent l'emploi d'un ordinateur ; si la fabrication comporte de nombreux niveaux, le traitement sur machine électronique peut prendre beaucoup de temps. C'est pourquoi il faudra créer des fichiers de produits décomposés (indiquant les proportions de matières par rapport aux produits finis). Il suffira alors, en début de chaque période, de multiplier la production prévue par les proportions ci-dessus ; la décomposition complète se faisant une fois par an ;

d) *le calcul de la quantité de commande* (voir 2.132) : si l'on utilise la formule de Wilson, il n'y a pas de recalculation périodique ; la quantité déterminée dans la phase d'initialisation reste valable durant toute l'année. Par contre, si l'on a opté pour la quantité économique flottante, il y aura calcul lors de chaque phase de révision (voir 2.1322) ;

e) *le calcul du point de commande* : il faut procéder exactement de la même façon que pour les produits finis : lissage du stock de sécurité et recalculation du point de commande.

Toute cette phase de révision est extrêmement importante car elle apporte une certaine souplesse au système ; on peut, par ce biais, corriger au fur et à mesure les objectifs sans remettre en cause les paramètres de base. Les ajustements doivent être modérés afin de limiter les écarts d'une période à l'autre ; par exemple, des prévisions trop fluctuantes risquent de jeter le discrédit sur le système : le chef de production n'admettra pas que ses programmes de fabrication soient complètement bouleversés d'une période à l'autre.

Il faut encore dire quelques mots de *l'intervalle de révision* : celui-ci devrait être le même pour tous les éléments (prévision, production, points de lancement, etc.). Comme les prévisions sont rarement connues pour des périodes plus brèves que le mois, c'est ce dernier intervalle qui sera choisi de préférence. Nous ne devrions pas prendre des périodicités plus grandes à moins que les produits ne soient très stables. Dans le choix d'un intervalle il faut toujours garder à l'esprit le principe suivant : mieux vaut des ajustements modérés (α faible) à des intervalles rapprochés que des corrections importantes à des intervalles éloignés.

2.3 Phase d'exploitation

Il s'agit de la gestion permanente de la production, des stocks de produits finis et des matières premières. Cette phase comporte la réalisation de 4 tâches distinctes :

1. La mise à jour du stock de produits finis.
2. La mise à jour du stock de matières premières.
3. L'ordonnancement de la production.
4. Le déclenchement des commandes matières.

Nous laisserons de côté le problème des mouvements de stocks ; ce cas est trop simple pour être traité ici ; les produits finis sont mis à jour par la production (INPUT) et par la facturation journalière (OUTPUT). Le problème peut se compliquer si l'en-

entreprise possède des entrepôts régionaux: la solution sera différente selon que ces derniers sont considérés comme autonomes (assimilés à des clients) ou comme partie intégrante du stock central. La littérature est abondante sur ce sujet, c'est pourquoi nous le laissons de côté; d'autre part, l'organisation de la distribution diffère grandement d'une entreprise à l'autre: il n'existe pas de solution globale satisfaisante.

En ce qui concerne les matières premières, les mouvements de stocks sont faciles à déterminer; un problème peut éventuellement se poser pour les matières liquides: il n'est pas possible de connaître les consommations sans l'installation de compteurs spéciaux.

Quel que soit le genre d'entreprise, il est absolument nécessaire de connaître *chaque jour* le niveau des stocks; si cette condition n'est pas remplie, le risque de rupture s'accroît et le stock moyen se trouvera augmenté de l'utilisation prévue entre deux mises à jour.

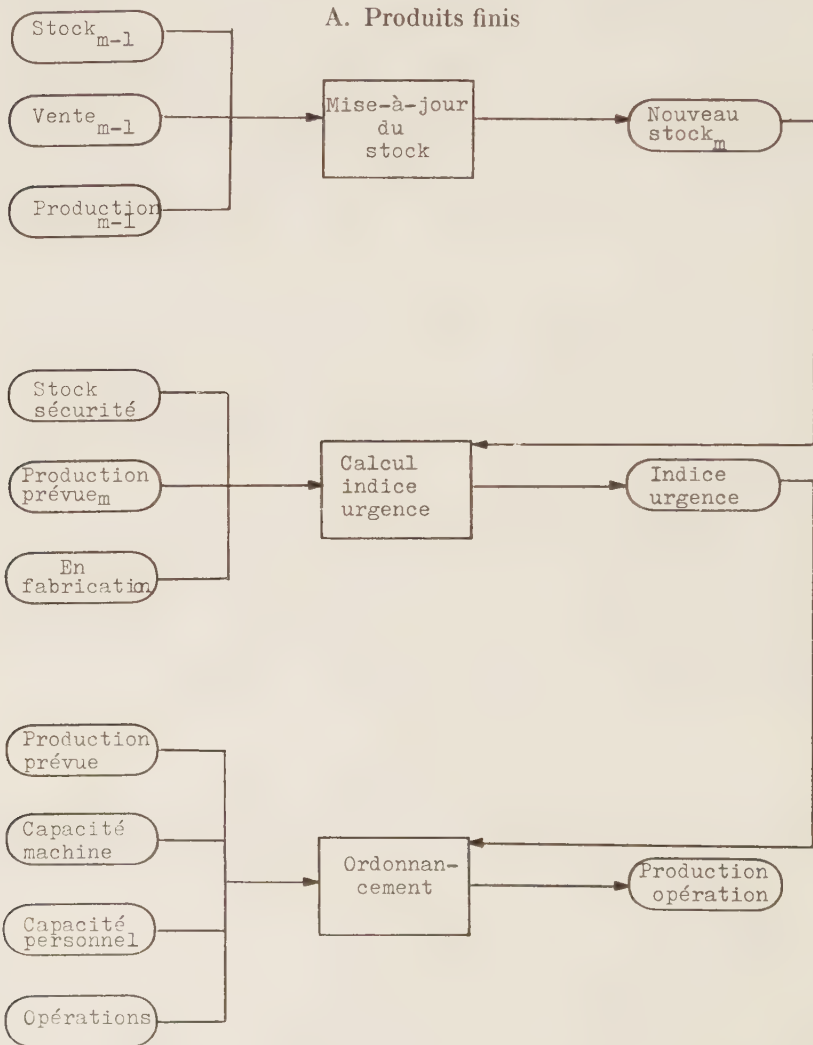


Fig. 36 — Schéma général de la phase d'exploitation (produits finis).

B. Matières premières

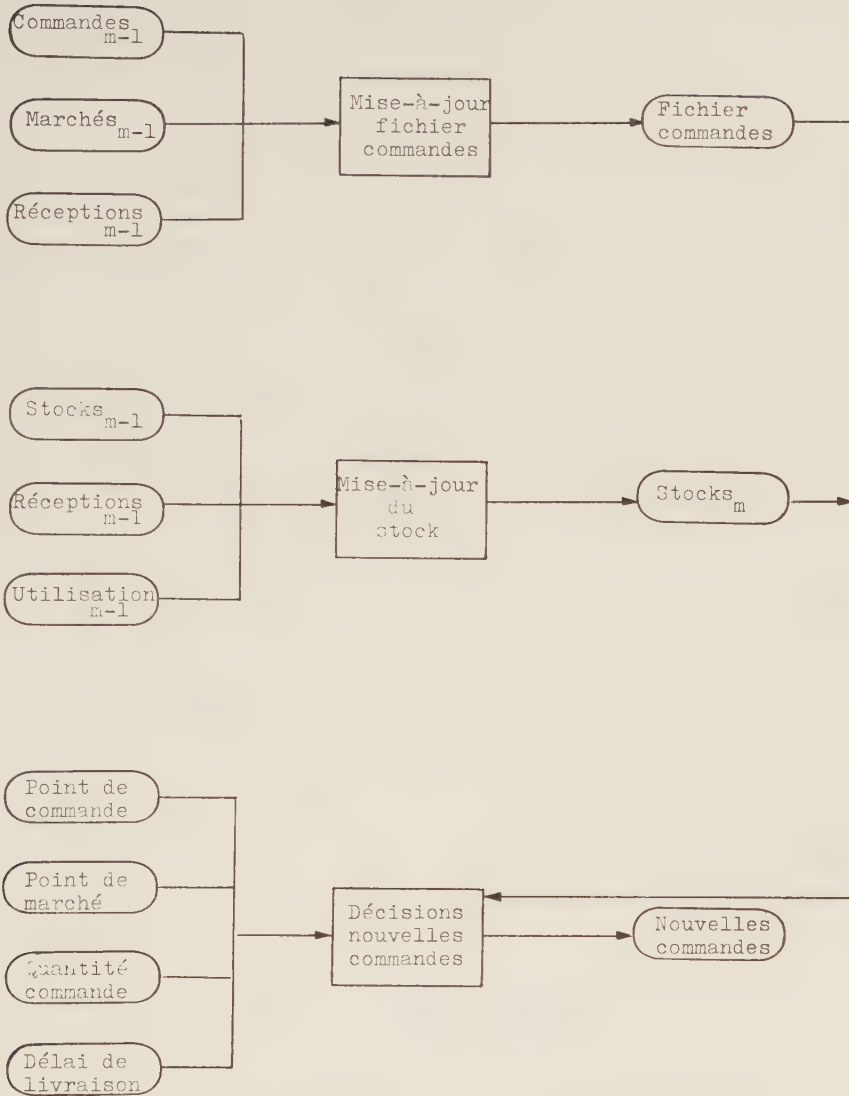


Fig. 37 — Schéma général de la phase d'exploitation (matières premières).

2.31 Gestion des lancements de production

Lors des phases précédentes, nous avons vu comment optimiser la production et les stocks. Les quantités obtenues concernaient des périodes (mois). Or, le chef de production ne peut pas se contenter des chiffres mensuels : il doit pouvoir répartir sa fabrication sur chaque jour et par opération. Nous n'allons pas décrire ici tout un modèle d'ordonnancement car cela nous mènerait trop loin. Par contre, nous verrons comment exploiter les chiffres obtenus lors de la phase de révision.

Le but à atteindre consiste à répartir la production mensuelle (calculée) en fonction d'un ordre d'urgence. Comme on ne peut pas produire tous les articles à la fois, il

faudra mettre en premier sur le planning, les produits dont le stock est relativement le plus faible. L'indice d'urgence se calcule de la façon suivante :

$$(61) \quad IU = \frac{(EF + SI) - SS}{PV} \cdot JO$$

IU = indice d'urgence

SS = stock de sécurité

EF = en fabrication

PV = prévision de vente

SI = stock actuel

JO = nombre de jours ouvrables dans le mois

L'indice d'urgence indique dans combien de jours le stock de sécurité sera atteint ; si IU = 14, cela signifie que cet article devra être mis en fabrication le 14^e jour au plus tard ; sinon l'on risque une rupture de stock.

La quantité à fabriquer doit correspondre à X, c'est-à-dire la production mensuelle optimum ; si les prévisions de vente correspondaient exactement à la réalité, nous obtiendrions, en fin de mois, un stock égal au point de lancement (PL) de la période suivante. Prenons un exemple et calculons l'indice d'urgence :

Art.	Prod. mens.	Capac. journ.	Jours fabric.	Prév. vente	Stock actuel	En fabric.	Stock sécurité	Jours ouvr.	Indice urgence
	A	B	C = A/B	D	E	F	G	H	$\frac{F+E-G}{D} \cdot H$
A	400	100	4	400	420	0	140	20	14
B	400	50	8	400	70	0	70	20	0
C	200	100	2	160	84	100	40	20	18
D	100	50	2	100	30	20	10	20	8
E	600	150	4	600	200	0	80	20	4

Fig. 38 — Calcul de l'indice d'urgence.

Si l'on reporte sur un graphique mensuel les indices d'urgence ainsi que les jours de fabrication, nous obtenons :

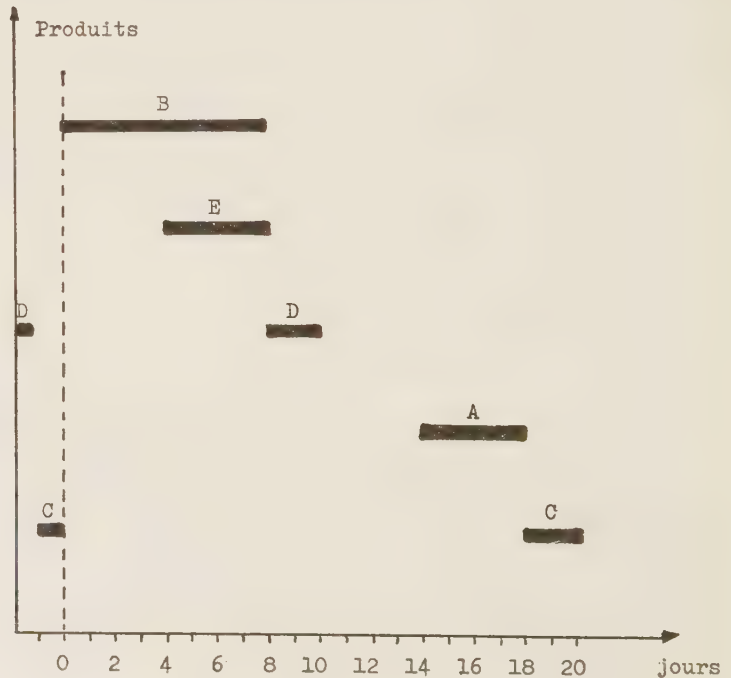


Fig. 39 — Plan de fabrication.

Si nous n'avons qu'une chaîne de production, il ne sera pas possible de produire en même temps les produits B et E; comme le produit E doit être fabriqué le 4 au plus tard, il faudra partager en deux la fabrication de B. Pour cela, nous allons calculer un nouvel indice d'urgence pour le solde de B. On procédera de la façon suivante:

a) calcul du stock théorique pour le 4^e jour:

Stock initial	+	Production 4 jours	—	Vente 4 jours	
70	+	200	—	80	= 190

b) calcul d'un 2^e indice d'urgence:

$$IU = \left(\frac{190 - 70 \cdot 20}{400} \right) + 4 = 10$$

Les 4 derniers jours de production de l'article B se feront à partir du 10. Si la date du 10 était déjà prise, il aurait fallu recalculer de nouveaux indices d'urgence et reporter le produit le moins menacé.

Dans notre exemple, la date du 10 est libre et nous obtenons le planning définitif suivant:

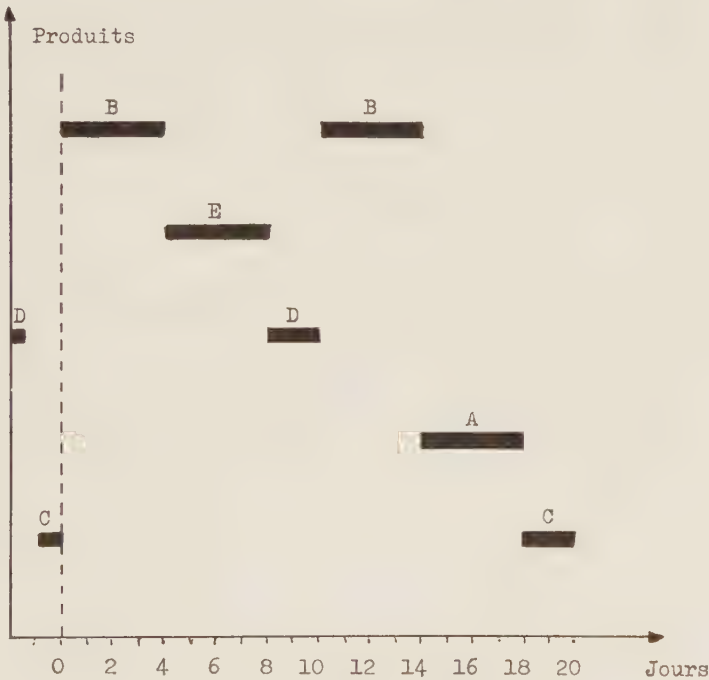


Fig. 40 — Plan de fabrication.

En pratique, il faut calculer passablement d'indices secondaires pour obtenir la meilleure répartition possible. D'autre part, nous n'avons pas tenu compte du délai de fabrication; si ce dernier est grand, il faut soustraire à l'indice le temps de fabrication.

Nous avons admis que le temps de réglage (pour changement de production) était minime. Si cela n'est pas le cas, il faut calculer une quantité minimum de lancement (voir 2.1242); cette quantité ne doit pas être fractionnée sur le planning journalier. Cette dernière solution est plus rigide et comporte davantage de risque; il faudra prévoir un stock de sécurité plus grand.

Dans le calcul de l'indice d'urgence, nous supposons que les ventes, au cours du mois, sont linéaires. En réalité, cette hypothèse est rarement vérifiée. C'est pourquoi, le plan de fabrication sera corrigé chaque semaine en tenant compte du nouveau stock effectif.

Nous venons de développer le cas où la fabrication comporte une seule opération majeure. Mais il existe souvent des processus plus complexes; les opérations se suivent et chaque stade doit être planifié en fonction des possibilités du niveau inférieur. Nous n'allons pas énumérer ici toutes les techniques d'ordonnancement; nous avons choisi une technique particulièrement simple mais extrêmement intéressante: *l'algorithme de Johnson*.

La méthode présentée par Johnson consiste à choisir l'ordre de passage des opérations en fonction de leur durée. La solution trouvée donne un optimum, à savoir que le cycle de fabrication global ne peut pas être plus court.

Supposons deux opérations successives A et B par lesquelles passent l'ensemble des produits. Le tableau 41 indique les temps d'usinage par produit.

Produit Opération	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	10	20	15	40	25	10	40	45	25
B	15	10	15	30	20	30	50	40	30

Fig. 41 — Temps d'usinage par produit.

Il faut maintenant classer les temps de charge dans l'ordre croissant des valeurs en précisant en face le produit et l'opération intéressés.

Temps	10	10	10	15	15	15	20	20	25	25	30	30	30	40	40	40	45	50
Opération	A	B	A	B	A	B	A	B	A	A	B	B	B	A	A	B	A	B
Produit	1	2	6	1	3	3	2	5	5	9	6	9	4	4	7	8	8	7

Fig. 42 — Classement des produits par temps d'usinage.

Puis on porte le premier produit ainsi trouvé en tête si son temps intéresse l'opération A, en fin de classement si son temps concerne la machine B. Lorsque tous les produits sont classés, l'ordre d'exécution est défini:

Ordre d'exécution: 1 6 3 9 7 8 4 5 2

On peut reporter cet ordre d'exécution sur un graphique de Gantt (voir fig. 43, page 67).

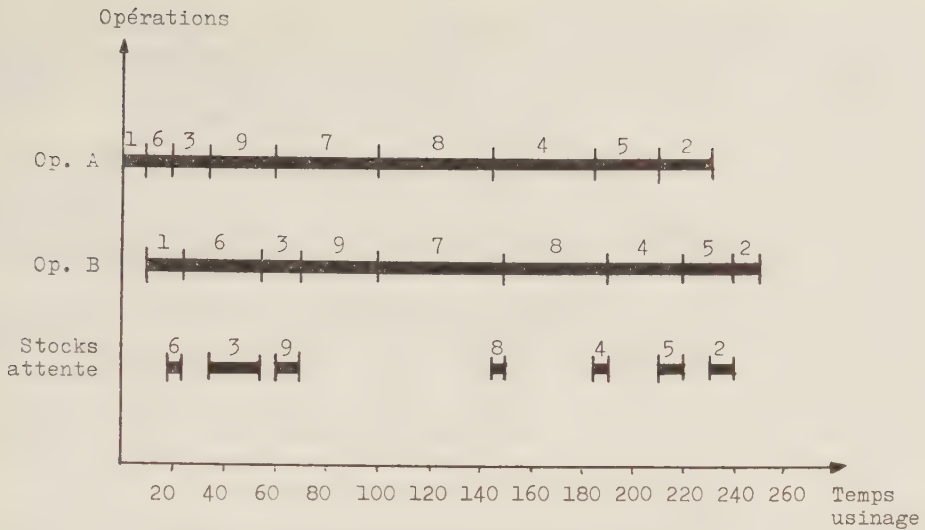


Fig. 43 — Plan de fabrication pour les opérations A et B.

On constate que, à aucun moment, l'opération B ne doit attendre qu'un produit soit terminé sur la machine A. En analysant la figure 43, on voit qu'il est possible de réduire les stocks d'attente en effectuant deux interruptions de production sur la chaîne A (après la fabrication du produit 7 et 4). Refaisons un plan de fabrication en tenant compte de ces interruptions :

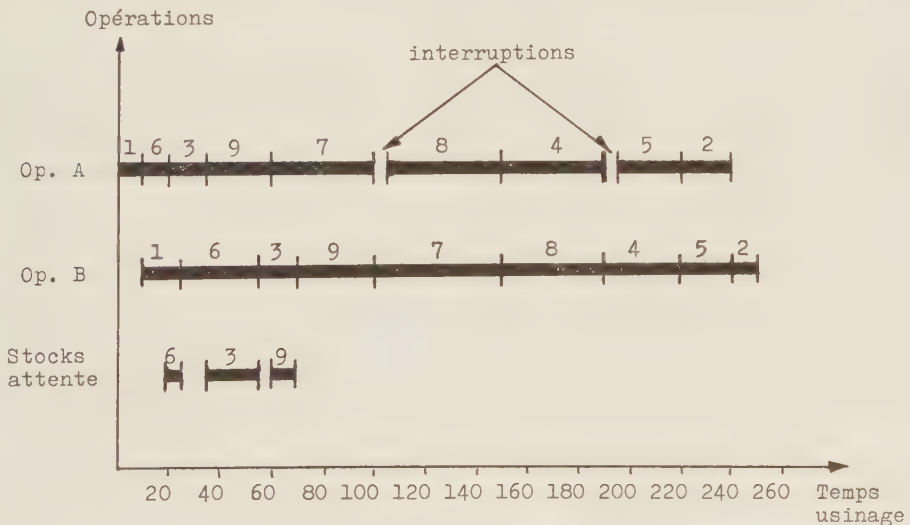


Fig. 44 — Plan de fabrication.

Avec ces deux arrêts, nous avons supprimé 4 stocks d'attente. L'algorithme de Johnson est simple à appliquer et il peut être utilisé avec plus de deux postes de travail. Il a cependant le défaut d'ignorer l'impératif des délais; il se pourrait, par exemple, que le produit 2 soit le plus urgent; or, avec la méthode ci-dessus il est fabriqué en fin de période.

Dans la mise en place d'un modèle d'ordonnancement, on pourra tenir compte à la fois de l'indice d'urgence et de la durée de l'opération. Si nous devons traiter des centaines de produits, il y aura forcément des indices d'urgence identiques; on choisira en priorité celui qui a le temps de production le plus petit.

2.32 Gestion des matières premières

Le problème est beaucoup plus simple ici car on ne doit pas planifier à l'avance les entrées en stocks; il suffit d'atteindre le point de commande pour déclencher un réapprovisionnement.

Si la gestion se fait sur ordinateur, on appliquera le management by exception; nous ne listerons pas l'ensemble du stock tous les jours; ce dernier sera mémorisé sur un support magnétique (bande, disque) et seules, les anomalies figureront sur une liste journalière.

La gestion permanente des stocks de matières premières comporte trois opérations :

A. Contrôle du point de commande

Le stock doit être ajusté chaque jour par les nouveaux arrivages et les dernières utilisations. Après cette opération, il faudra lire l'ensemble des articles et comparer si le stock est plus petit que le point de commande :

si stock + en commande $\leq$ Point de commande, il faut commander

La quantité de réapprovisionnement doit correspondre à celle calculée dans la phase d'initialisation (si on a choisi la formule de Wilson) ou à celle calculée dans la phase de révision (si l'on utilise la quantité économique flottante).

B. Contrôle du point de marché

Il faut ouvrir ici une parenthèse. Lorsque l'on calcule la quantité de commande, le coût de stockage tend à faire baisser cette quantité jusqu'à un optimum. Or, les fournisseurs accordent généralement des rabais; ce phénomène fait remonter la quantité car la différence de prix compense, jusqu'à une certaine limite, l'augmentation des coûts de stockage.

Il existe cependant une solution qui permet à la fois d'avoir des coûts de stockage minimum et de bénéficier des rabais. Il suffit de passer des *marchés* (annuels par exemple) auprès des fournisseurs; cette commande globale garantit généralement un rabais important; quant aux livraisons, elles se font sur la base d'*appels* du client au fur et à mesure des besoins. Les appels correspondent à la quantité économique.

Ce système s'avère très intéressant pour le client; en fait, il transfère une partie de son stock chez le fournisseur; ce dernier bénéficie toutefois d'un avantage: il connaît à l'avance ses ventes globales et peut ainsi mieux planifier sa production.

Prenons un exemple; soit un article A dont la consommation annuelle est de 1000 et le prix de base Fr. 10.—

Utilisation annuelle (UM) = 1000

prix d'achat (CU) = Fr. 10.—

coût de commande (p) = Fr. 10.—

coût de stockage (s) = 0,2

$$Q = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000 \cdot 10}{10 \cdot 0,2}} = 100$$

La quantité optimum est égale à 100; mais le fournisseur accorde les rabais suivants: jusqu'à 200: prix = Fr. 10.—

500: prix = Fr. 9,50

1000: prix = Fr. 9.—

Si l'on tient compte de ces rabais, on obtient 1000 comme quantité optimum (voir 2.1321):

Q	Valeur d'achat			Coût de commande			Coût de stockage				Coût total
	UM	CU	valeur	N	p	valeur	stock moyen	CU	s	valeur	
	1	2	$\frac{3}{1 \times 2}$	4	5	$\frac{6}{4 \times 5}$	$\frac{7}{Q/2}$	8	9	$\frac{10}{7 \times 8 \times 9}$	$\frac{11}{3 + 6 + 10}$
			Fr.			Fr.				Fr.	Fr.
100	1000	10	10 000	10	10	100	50	10	0,2	100	10 200
500	1000	9,5	9 500	2	10	20	250	9,5	0,2	475	9 995
1000	1000	9,0	9 000	1	10	10	500	9,0	0,2	900	9 910

Fig. 45 — Calcul de la quantité de commande en fonction des rabais.

Nous pouvons aussi passer un marché annuel de 1000 livrable sur appels de 100. Dans ce cas, nous bénéficions d'un prix de Fr. 9.— et nous n'augmentons pas nos coûts de stockage. Comparons les coûts précédents avec ceux résultant de la conclusion d'un marché (voir fig. 46).

	Valeur d'achat			Coût de commande			Coût de stockage				Total
	UM	CU	valeur	N	p	valeur	stock moyen	CU	s	valeur	
			Fr.			Fr.				Fr.	Fr.
Marché=1000 Appel=100	1000	9	9000	10	10	100	50	9	0,2	90	9190
Commande de 1000	1000	9	9000	1	10	10	500	9	0,2	900	9910

Fig. 46 — Comparaison des coûts de marché et des coûts de commande.

En faisant un marché nous réalisons un gain de Fr. 720.—, ce qui est très appréciable. Durant la phase d'exploitation nous devons surveiller deux éléments:

a) *le point d'appel*: il se calcule exactement comme le point de commande; chaque jour, le système doit contrôler si ce point est atteint; si oui, on passe un nouvel appel au fournisseur;

b) *le point de marché*: il indique à partir de quel moment il faut conclure un nouveau marché. Ce point peut être fixé arbitrairement car il n'a aucune influence sur le volume de stock. Le contrôle journalier sera le suivant:

si solde sur marché + en appel $\leq$ Point de marché, il faut renouveler le marché

C. Contrôle des stocks nuls et négatifs

Les stocks négatifs sont des erreurs à corriger. Quant aux stocks nuls, ils concernent soit des matières remplacées, soit des composants de produits finis non répétitifs; ces articles seront annulés ou recommandés sur demande de la fabrication.

3. GESTION D'ARTICLES NON RÉPÉTITIFS

3.1 Caractéristiques

Jusqu'à maintenant nous avons traité des produits qui étaient commandés périodiquement par les clients. Cette périodicité nous a permis de calculer des prévisions de vente et des points de lancement.

Mais il existe d'autres produits dont la fabrication ne sera pas répétée. L'absence de répétitivité a deux conséquences majeures :

- a) on ne peut plus calculer de prévisions en se basant sur l'historique des ventes;
- b) le problème de la gestion des stocks n'existe pratiquement plus. Nous n'avons plus de point de lancement à calculer puisque le produit, une fois fabriqué, sera éliminé de l'assortiment.

Le seul problème à résoudre consiste à choisir la *quantité optimum de lancement*. Ce choix est primordial car, si l'on fabrique trop peu, le profit réalisable sera inférieur aux possibilités; dans le cas contraire, la surproduction entraînera des déchets. En pratique, les entreprises ont tendance à prévoir des quantités trop grandes; ceci est dangereux lorsque le produit est coûteux: nous pouvons avoir vendu le 90 % de la quantité lancée (ce que le service de Marketing considérera comme un succès); mais la valeur des 10 % restant en stock sera peut-être plus grande que le bénéfice réalisé sur le 90 % des ventes.

Nous avons trouvé, dans un ouvrage spécialisé¹, un modèle qui permet de résoudre ce problème.

3.2 Modèle de calcul de la quantité optimum de lancement

Ce modèle comporte deux phases bien distinctes: il s'agit d'abord de déterminer les probabilités de vente et ensuite les paramètres permettant le choix de la quantité de lancement.

3.21 Probabilité de vente

Comme l'on ne possède aucun historique des ventes, on ne peut pas calculer la demande moyenne. Par contre, on pourra dire à l'intérieur de quelle limite la demande se trouvera. Par exemple, le Marketing peut affirmer que l'article A a un potentiel de vente allant jusqu'à 100 (*voir fig. 47, page 71*).

Il s'agit là d'une distribution statistique continue; comme nous n'avons aucun élément permettant de préciser la distribution, nous avons choisi une droite. Cela signifie, dans notre exemple, que la probabilité de vente décroît (de manière constante) au fur et à mesure que s'accroît la quantité. Quant à la densité de la probabilité, elle est égale à $f(x)$. Connaissant cette densité, nous allons calculer l'espérance mathématique du profit lorsque nous fabriquerons la quantité Z.

3.22 Détermination des paramètres

Si la quantité lancée correspond à la limite supérieure, l'espérance de bénéfice est maximum; par contre, il existe un grand risque de mévente. A l'opposé, si la quantité lancée est faible il n'existe pratiquement aucun risque de mévente, mais le bénéfice

¹ J. Buchan et E. Koenigsberg, *Gestion scientifique des stocks*, Ed. d'organisation, Paris, pages 314 à 317.

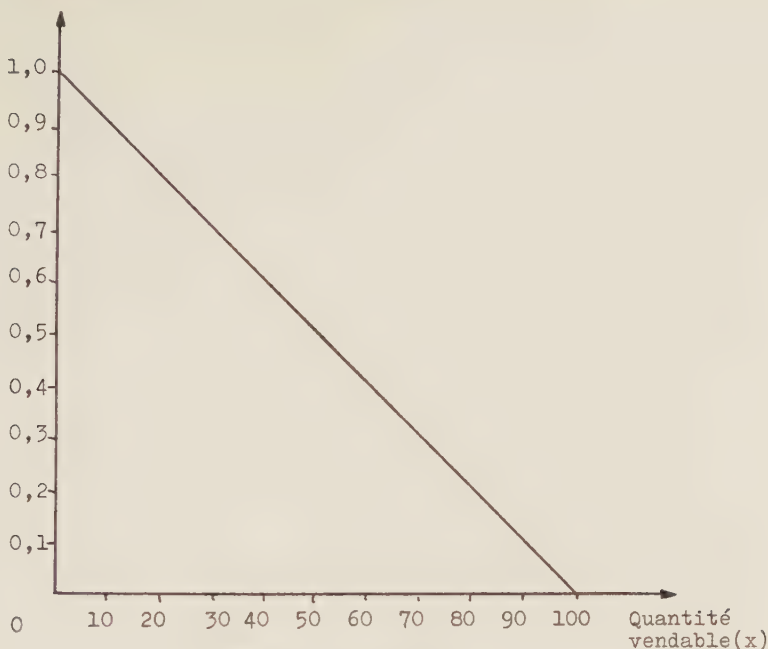


Fig. 47 — Probabilité de vente.

sera faible. Il s'agit donc de choisir une quantité qui donne l'espérance de profit maximum. Nous allons faire intervenir 3 conditions:

A. Le bénéfice moyen

Il est représenté par l'intégrale suivante (incomplète dans l'ouvrage de Buchan):

$$(62) \quad BM = G \int_0^Z x \cdot f(x) dx + G \int_Z^N z \cdot f(x) dx$$

Si l'on remplace $f(x)$ par $-ax + b$ on obtient:

$$(63) \quad BM = G \int_0^Z x(-ax + b) dx + G \int_Z^N z(-ax + b) dx$$

BM = bénéfice moyen

x = quantité vendable

G = bénéfice unitaire (marge brute)

-a = pente de la droite de probabilité

Z = quantité optimum de lancement

N = demande maximum

$$\begin{aligned} BM &= G \int_0^Z x(-ax + b) dx = G \int_0^Z (-ax^2 + bx) dx \\ &= G \left(-\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} \right) \Big|_0^Z + GZ \left(-\frac{ax^2}{2} + bx \right) \Big|_Z^N \\ (64) \quad BM &= G \left(-\frac{aZ^3}{3} \right) + G \left(\frac{bZ^2}{2} \right) - GZ \left(\frac{aN^2}{2} \right) + GZ (bN) \\ &\quad + GZ \left(\frac{aZ^2}{2} \right) - GZ (bZ) \end{aligned}$$

Le bénéfice peut être représenté par la surface suivante :

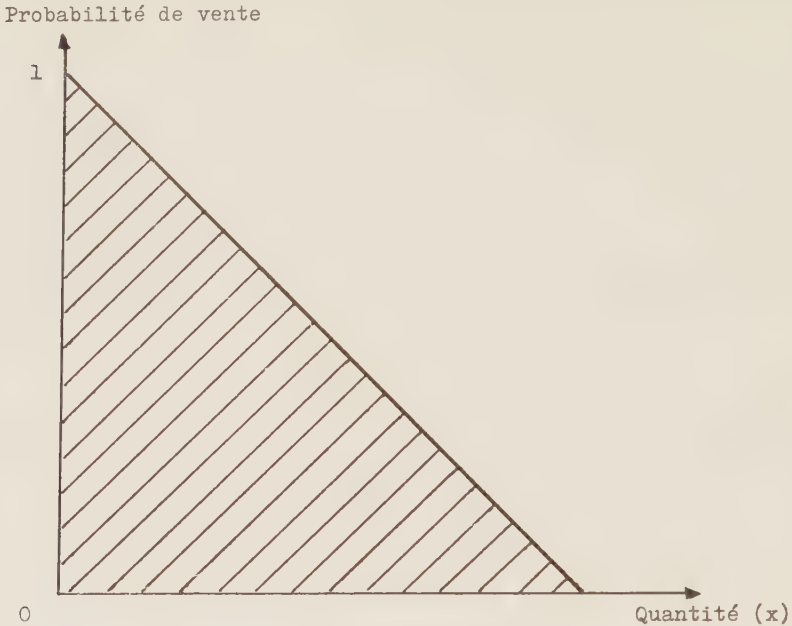


Fig. 48 — Bénéfice moyen.

B. Perte en cas de pénurie

Si l'on ne fabrique pas assez, il se peut que l'on perde des clients. Cette perte, difficilement chiffrable, est représentée par l'intégrale suivante :

$$(64) \quad PP = U \int_Z^N (x-Z) (-ax + b) dx$$

U = perte par unité non vendue

Z = quantité optimum de lancement

N = demande maximum

PP = perte en cas de pénurie

$$PP = U \int_Z^N x (-ax + b) dx - UZ \int_Z^N (-ax + b) dx$$

$$PP = U \left(-\frac{ax^3}{3} + \frac{bx^2}{2} \right) - UZ \left(-\frac{ax^2}{2} + bx \right) \Big|_Z^N$$

$$(65) \quad PP = -U \left(\frac{aN^3}{3} \right) + U \left(\frac{bN^2}{2} \right) + UZ \left(\frac{aN^2}{2} \right) - UZ (bN) \\ + U \left(\frac{aZ^3}{3} \right) - U \left(\frac{bZ^2}{2} \right) - UZ \left(-\frac{aZ^2}{2} \right) + UZ (bZ)$$

Probabilité de vente

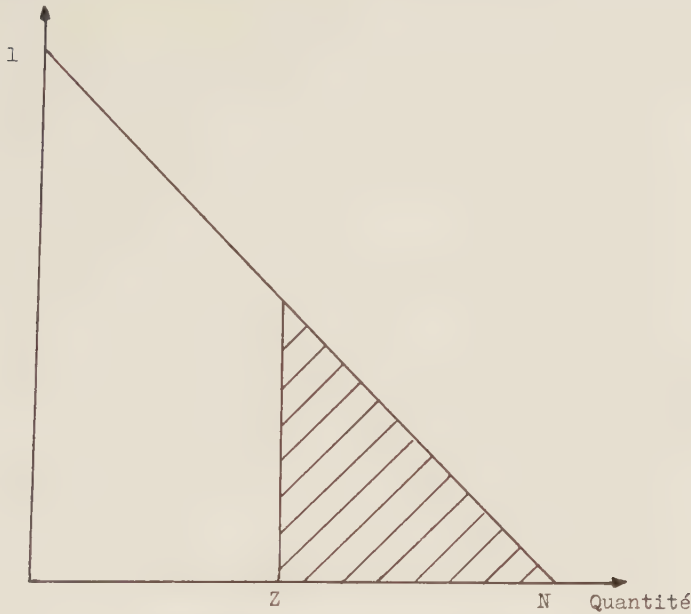


Fig. 49 — Perte en cas de pénurie.

C. Perte en cas de mévente

Si la quantité lancée est trop forte, nous aurons des déchets représentés par la différence entre le coût de fabrication et la valeur de récupération; la perte moyenne est donc la suivante:

$$(66) \quad PMV = (C-V) \int_0^Z (Z-x) (-ax + b) dx$$

PMV = perte moyenne en cas de mévente

C = coût de fabrication

V = valeur de récupération

$$PMV = (C-V) Z \int_0^Z (-ax + b) - (C-V) \int_0^Z x (-ax + b)$$

$$PMV = (C-V) Z \left(-\frac{ax^2}{2} + bx \right) \Big|_0^Z - \left[(C-V) \left(-\frac{ax^3}{3} \right) + (C-V) \left(\frac{bx^2}{2} \right) \right] \Big|_0^Z$$

$$(67) \quad PMV = (C-V) Z \left(-\frac{aZ^2}{2} \right) + (C-V) Z(bZ) - (C-V) \left(\frac{aZ^3}{3} \right) + (C-V) \left(\frac{bZ^2}{2} \right)$$

(voir fig. 50, page 74).

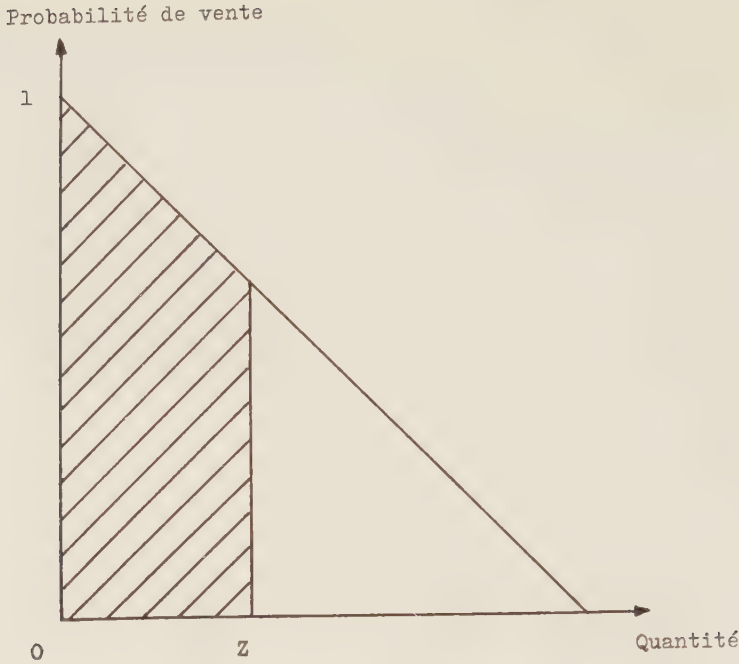


Fig. 50 — Perte en cas de mévente.

D. Profit probable pour un lancement de Z

Ce profit est égal à :

$g(Z)$ = bénéfice moyen (BM) — perte en cas de pénurie (PP)
— perte en cas de mévente (PMV)

$$\begin{aligned}
 (68) \quad g(Z) = & -G\left(\frac{aZ^3}{3}\right) + G\left(\frac{bZ^2}{2}\right) - GZ\left(\frac{aN^2}{2}\right) + GZ(bN) + GZ\left(\frac{aZ^2}{2}\right) - GZ(bZ) + \\
 & U\left(\frac{aN^3}{3}\right) - U\left(\frac{bN^2}{2}\right) - UZ\left(\frac{aN^2}{2}\right) + UZ(bN) - U\left(\frac{aZ^3}{3}\right) + \\
 & U\left(\frac{bZ^2}{2}\right) + UZ\left(\frac{aZ^2}{2}\right) - UZ(bZ) - \left[(C-V)Z\left(-\frac{aZ^2}{2}\right)\right] - \\
 & \left[(C-VZ)(bZ)\right] + \left[(C-V)\left(-\frac{aZ^3}{3}\right)\right] + \left[(C-V)\left(\frac{bZ^2}{2}\right)\right]
 \end{aligned}$$

En simplifiant nous obtenons :

$$\begin{aligned}
 g(Z) = & \frac{aZ^3}{6}(C-V+G+U) + \frac{bZ^2}{2}(-G+V-C-U) \\
 & + (Z \cdot U \cdot N + G \cdot Z \cdot N) \left(b - \frac{aN}{2}\right) - U \cdot N^2 \left(\frac{b}{2} - \frac{aN}{3}\right)
 \end{aligned}$$

Pour trouver le profit maximum, il suffit de calculer la dérivée et de l'égaliser à zéro :

$$(69) \quad \frac{aZ^2}{2}(C-V+G+U) + bZ(-G+V-C-U) + (U \cdot N + G \cdot N)(b - \frac{aN}{2}) = 0$$

Z = quantité optimum de lancement

C = coût de fabrication

V = valeur de récupération

G = marge brute

U = perte par unité non vendue

N = demande maximum

a = pente de la droite de probabilité ($+$ $\Rightarrow$ $-a$)

b = probabilité pour une demande = 0

Dans la plupart des cas, la demande se situera en deçà ou au-delà de Z . Mais en lançant la quantité Z , nous maximisons le profit; les produits qui ont un coût très élevé seront ramenés vers la limite inférieure. Par contre, les produits ayant une grande marge brute (et un coût faible) se situeront vers la limite supérieure: dans ce cas, cela vaut la peine de prendre un risque de mévente car le bénéfice probable est nettement supérieur à ce risque.

Dans notre modèle nous connaissons une limite supérieure de vente (N); en pratique, le département de Marketing pourra donner une limite inférieure; dans ce cas, un minimum de vente est garanti.

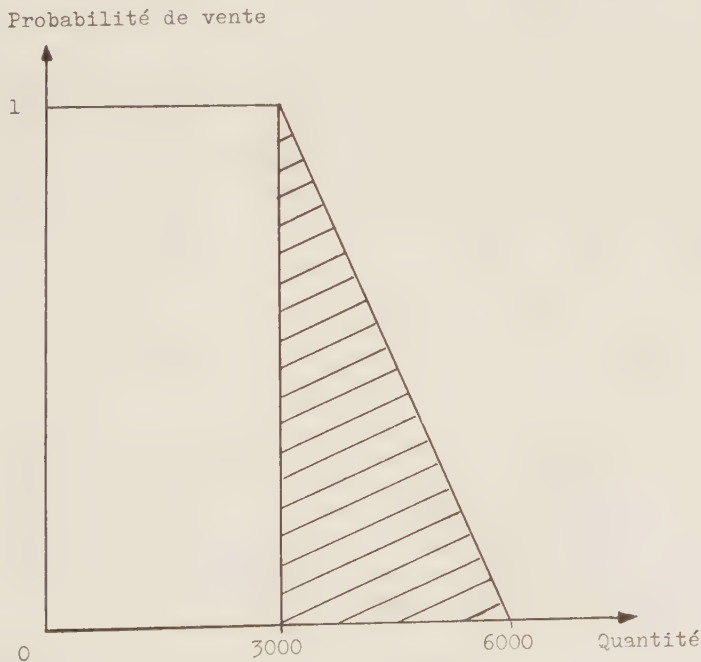


Fig. 51 — Probabilité de vente.

La figure 51 montre que les prévisions sont comprises entre 3000 et 6000 unités. Le modèle que nous avons défini préalablement reste valable: il suffit de ne prendre

en considération que la tranche comprise entre 3000 et 6000; N devient égal à 6000 — 3000 = 3000; quant à la quantité optimum de lancement, elle se calcule en additionnant à Z la prévision minimum (3000):

$$(70) \quad \text{QOL} = \text{PMIN} + Z$$

QOL = quantité de lancement

PMIN = prévision minimum

Z = quantité optimum de lancement (comprise entre la vente minimum et maximum).

Cette notion de limite inférieure et supérieure des prévisions est intéressante car elle permet de modifier la « fourchette » en fonction de la connaissance du produit; si l'article lancé est similaire à un produit ancien dont on connaît les ventes effectives, nous aurons une fourchette étroite car l'incertitude est relativement faible.

Exemple :

Le département de Marketing estime qu'un nouveau produit peut être vendu entre 100 et 200 unités. Quelle est la quantité optimum de lancement en sachant que :

coût de fabrication (C) = 10.—

marge brute (G) = 4.—

valeur de récupération (V) = 2.—

perte par unité non vendue (U) = 1.—

demande maximum (N) = 200—100 = 100

pente de la droite de probabilité (a) = 1/100 = 1·10⁻²

probabilité pour une quantité de 0 = 1

$$\frac{aZ^2}{2}(C-V+G+U) + bZ(-G+V-C-U) + (U \cdot N + G \cdot N) \left(b - \frac{aN}{2}\right) = 0$$

$$\frac{10^{-2} \cdot Z^2}{2}(10-2+4+1) + Z(-4+2-10-1) + (100+400) \left(1 - \frac{10^{-2} \cdot 100}{2}\right) = 0$$

$$\underbrace{6,5 \cdot 10^{-2} \cdot Z^2}_a - \underbrace{13Z}_b + \underbrace{250}_c = 0$$

$$Z = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{13 \pm \sqrt{169 - 65}}{13 \cdot 10^{-2}} = < \frac{177}{23} \rightarrow \text{solution}$$

$$\text{QOL} = 100 + 23 = 123$$

La quantité à fabriquer est très près de la limite inférieure parce que le coût de fabrication est grand par rapport à la marge brute; il n'est pas intéressant de trop fabriquer parce que le risque est grand.

Souvent, dans les entreprises, il existe simultanément des produits répétitifs et non répétitifs; il est donc judicieux d'intégrer ces derniers aux autres articles courants; cela est possible et le processus décrit en 2.11 est applicable à l'exception des cas suivants:

a) il n'y a pas de stock de sécurité car ces produits sont vendus jusqu'à épuisement du stock;

b) la quantité de matière à commander sera égale au résultat de la décomposition de la quantité de lancement. Il faudra introduire un code épuisement qui signale au gestionnaire de stock que ces matières ne doivent pas être recommandées.

La figure 52 montre comment les produits non répétitifs sont intégrés dans le système global de gestion.

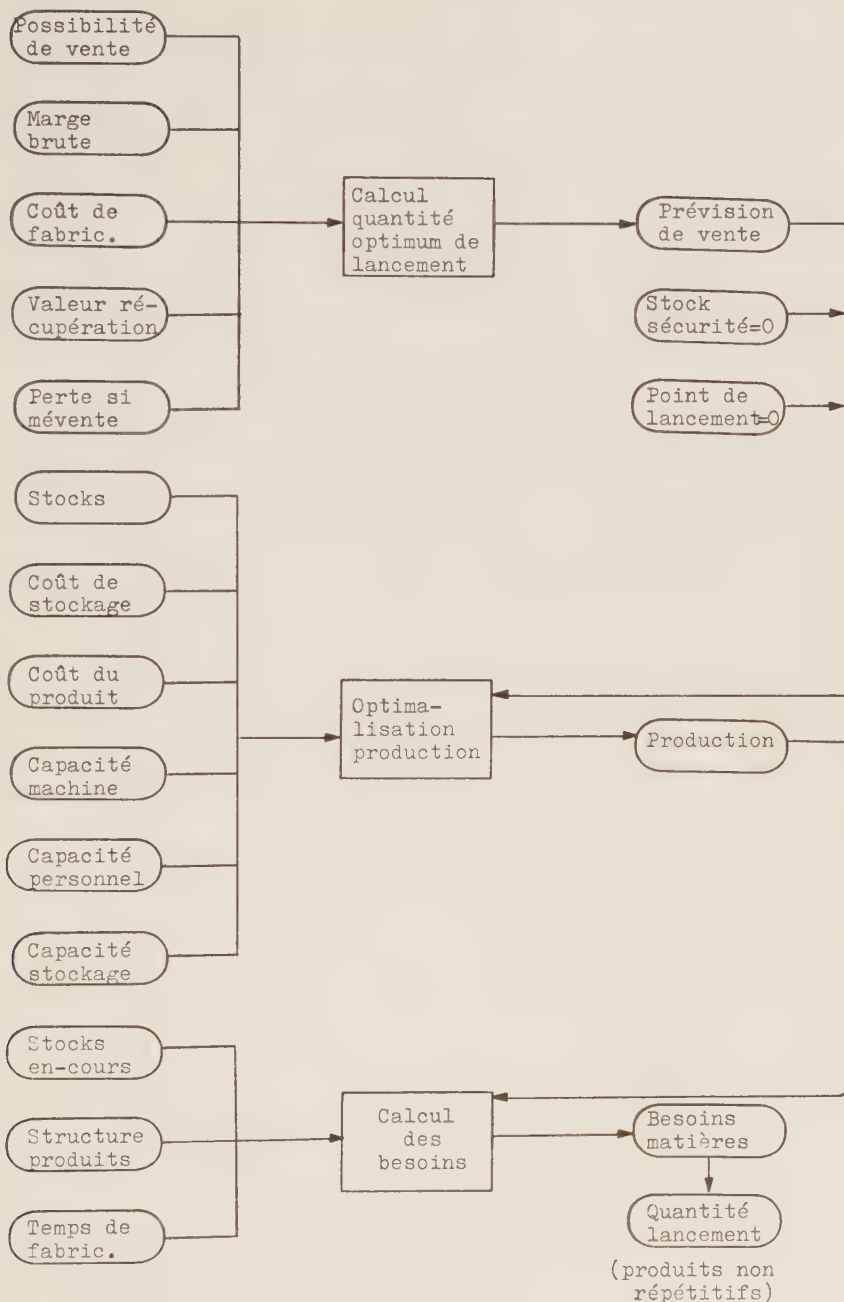


Fig. 52 — Schéma général de la gestion des produits non répétitifs.

4. CONCLUSIONS

Après avoir décrit un modèle global de gestion de stock, nous pouvons nous poser la question suivante: vaut-il la peine d'introduire un tel système? Est-ce que les coûts d'implantation ne vont pas être supérieurs aux gains résultant d'une meilleure gestion des stocks? A première vue, nous pourrions le croire. En effet, les coûts de stockage n'apparaissent jamais d'une façon évidente dans la comptabilité d'une entreprise; aussi les responsables négligent-ils ce problème. Les stocks peuvent se gonfler d'une année à l'autre sans que cela influence le résultat financier; seul l'actif du bilan laissera apparaître une valeur de stock toujours plus considérable. Mais un jour l'entreprise va constater qu'elle a des difficultés de trésorerie et que sa capacité d'autofinancement diminue malgré des résultats financiers satisfaisants. C'est alors seulement qu'apparaît véritablement le coût des stocks. Toute cette *valeur immobilisée*, non seulement occasionne des coûts de stockage, mais elle ne rapporte rien. Et il se peut que l'entreprise ait renoncé à des investissements par manque de trésorerie ou de crédit; libérant une partie des stocks nous aurions pu acquérir de nouvelles installations d'où augmentation de la productivité. Il n'est donc pas étonnant que l'on prenne des taux élevés (20-25 %) pour pénaliser les coûts de stockage.

Le risque de pénurie est un des arguments avancés par les adversaires d'une gestion scientifique des stocks. Or, il faut bien se rendre compte que la sécurité ne s'accroît pas proportionnellement au volume des stocks; en l'absence de gestion, il y a souvent distorsion entre stocks et besoins: pour les produits à forte demande les stocks seront souvent trop faibles et pour les autres ils seront beaucoup trop élevés; sur l'ensemble, le niveau total du stock s'élèvera constamment sans pour autant que le risque de rupture diminue. D'autre part, si l'on doit surveiller des milliers d'articles, le responsable ne pourra jamais agir sur la totalité à la fois; des ruptures sont donc inévitables; ainsi apparaît l'engrenage de l'augmentation permanente des stocks. Lorsque l'on aura fait remarquer au gestionnaire quelques cas de ruptures, il tentera d'augmenter sa marge de sécurité en croyant éviter les pénuries futures; il agira ainsi parce qu'il ne sait pas que c'est le système de surveillance et de réapprovisionnement qui est défectueux.

Si nous nous basons sur des cas réels, on constate que l'introduction d'une gestion scientifique entraîne à la fois une réduction des stocks de l'ordre de 10 à 30 % et une baisse du nombre de ruptures. A notre avis, toute entreprise ne peut pas durablement ignorer ce problème sans s'attirer d'importantes difficultés.

Il est clair que la mise en place d'un modèle de gestion tel que nous l'avons décrit, n'est pas une chose facile. Il y a tout d'abord *l'aspect mouvant* du phénomène de stockage; toute erreur, à un moment donné dans les entrées ou sorties, subsiste tant qu'aucune correction ne sera apportée (ce problème ne se passe pas, par exemple, pour des statistiques de vente où une erreur durant un mois n'a pas d'influence sur la statistique du mois suivant). Il en résulte que le *cheminement des informations et son contrôle* jouent un rôle prépondérant dans la gestion des stocks; la qualité de la gestion dépendra autant de cet élément que de la valeur du modèle utilisé.

L'introduction d'une gestion scientifique des stocks se heurte aussi au problème humain; le système touche pratiquement tous les départements de l'entreprise et il est très difficile de trouver partout des responsables convaincus; il faut donc *informer* très précisément chaque service du rôle qu'il doit assumer. Les réserves proviennent aussi des personnes qui ne comprennent pas le problème parce qu'elles n'ont pas les bases mathématiques suffisantes. Là encore, il est nécessaire de *former* des responsables compétents car l'acceptation du système résulte en fait de sa compréhension.

En général, les stocks sont composés de très nombreux articles; ce volume élevé nécessite de recourir à un *ordinateur*, surtout pour calculer les paramètres de base (stock de sécurité, quantité de commande, etc.). Les entreprises qui possèdent donc un calculateur électronique sont favorisées par rapport aux autres. Mais, il est toutefois possible de mettre au point des modèles moins ambitieux; toute gestion manuelle n'est donc pas exclue; on peut, par exemple, construire des *nomogrammes*, qui permettent de lire la quantité de commande sans avoir recours à la formule mathématique. On peut aussi s'occuper *uniquement des produits importants* (en général, le 20 % des articles importants représente le 70-80 % de la valeur); dans ce cas, on peut arriver à des résultats spectaculaires à peu de frais. De nombreux ouvrages préconisent cette façon de procéder; nous émettons cependant une réserve: les produits non gérés (70-80 %), qui ont une valeur très faible, peuvent occasionner de gros frais en cas de rupture: par exemple, le coût des aiguilles d'une montre est faible, mais une pénurie de cet article peut bloquer complètement tout un atelier de fabrication. Pour les articles moins importants on pourra utiliser des méthodes simplifiées.

Dans notre étude, nous nous sommes attachés à démontrer l'importance des *liaisons*; la gestion des stocks se répercute à tous les niveaux de l'entreprise. C'est pourquoi il est absolument indispensable, dans l'élaboration d'un modèle, d'avoir une *vision globale du phénomène*. Le point de départ de tout le processus est constitué par les prévisions de vente; la qualité de celles-ci va considérablement influencer les niveaux inférieurs. Comme l'exactitude des prévisions est plus ou moins grande, il faudra réviser aussi souvent que possible l'ensemble des paramètres; la valeur d'un modèle dépend aussi de sa *capacité d'adaptation aux nouvelles situations*.

Les trois phases développées (initialisation, révision, exploitation) sont indissolublement liées; aucune d'elles ne peut être supprimée. Dans les ouvrages spécialisés, ces diverses phases n'apparaissent pas clairement; elles sont imbriquées dans un tout ou bien elles sont omises. Dans un but didactique, nous les avons bien séparées; ceci est logique, car chacune d'elles correspond à des périodicités différentes. L'initialisation du système se fera annuellement tandis que la révision interviendra tous les mois ou avec une autre périodicité. Quant à la phase d'exploitation, elle sera permanente, journalière si possible; les stocks et les ruptures seront d'autant plus faibles que cette périodicité sera courte.

Notre étude n'a pas abordé la totalité des problèmes de stocks; mais nous pensons avoir développé les points les plus importants et indispensables à l'introduction d'un *système intégré de gestion*.

5. LISTE DES SYMBOLES

a	trend
BB	besoins bruts (en matières)
BI	index saisonnier
BM	bénéfice moyen
BN	besoins nets (en matières)
BND	utilisation matières durant le délai de livraison
c	chaîne de fabrication
C	coût de fabrication ou achat (articles non répétitifs)
CL	coût de lancement
CM	capacité machine
COI	activité main-d'œuvre minimum
COS	capacité main-d'œuvre maximum
CR	coefficient de régression (pour calcul trend)
CS	capacité de stockage
CU	coût unitaire
d	heures main-d'œuvre
DL	délai de livraison
E	écart-type
EF	en fabrication
G	bénéfice probable (articles non répétitifs)
h	heures machine
i	articles
IU	indice d'urgence
JO	nombre de jours ouvrables dans le mois
K	coefficient de probabilité (calcul stock sécurité)
m	mois, période
MAD	écart absolu moyen
MADH	écart absolu par rapport à la moyenne annuelle
MADS	écart absolu par rapport aux index saisonniers
MADT	écart absolu par rapport au trend
N	vente maximum (articles non répétitifs)
NR	nombre de ruptures admises par an
OP	ordre de priorité
p	coût de passation de commande
PL	point de lancement
PM	point de commande matière
PMI	production minimum
PMIN	production minimum (articles non répétitifs)
PMV	perte en cas de mévente
PP	perte en cas de pénurie
PV	prévisions de vente
PVF	vente moyenne durant le délai de fabrication
Q	quantité de commande
QL	quantité de lancement
QOL	quantité de lancement (articles non répétitifs)
r	ruptures admises
s	coût de stockage
S	stock de régulation

SE	stock en cours
SI	stock initial
SM	stock minimum d'en cours
SS	stock de sécurité produits finis
SSM	stock de sécurité matières
T	coefficient de probabilité
TB	nombre de temps de base dans le délai
U	perte en cas de pénurie (articles non répétitifs)
UM	utilisation annuelle matières
v	coefficient de volume des produits
V	valeur de récupération (articles non répétitifs)
VE	vente effective
X	production
Z	quantité optimum de lancement (articles non répétitifs)
α	coefficient de lissage
β	coefficient de pondération
Δ	coefficient de proportionnalité (stock sécurité)
γ	exposant (calcul stock sécurité)

6. BIBLIOGRAPHIE

- ASRO Cours d'introduction à la programmation dynamique,
EPF, Lausanne, 1969, 104 p.
- A. Battersby Méthodes modernes d'ordonnancement,
Dunod, Paris, 1967, 268 p.
- C. Berge La théorie des graphes et ses applications,
Dunod, Paris.
- R. Berthillier La simulation électronique des activités de l'entreprise,
J. M. Frely Dunod, Paris, 1969, 124 p.
- P. Bonzon Eléments d'un langage orienté de programmation dynamique,
EPF, Lausanne, 1969, 88 p.
- E. H. Bowman Méthodes scientifiques de gestion industrielle,
R. B. Fetter Dunod, Paris, 1962, 397 p.
- J. Buchan Gestion scientifique des stocks,
E. Koenigsberg Ed. d'organisation, Paris, 1963, 541 p.
- D. R. Cox L'analyse statistique des séries d'événements,
P. A. W. Lewis Dunod, Paris, 1969, 271 p.
- M. Crolais Gestion intégrée de la production et ordonnancement,
Dunod, Paris, 1968, 496 p.
- G. Cullmann Recherche opérationnelle,
Editions Eyrolles et Masson, Paris, 1970, 244 p.
- G. B. Dantzig Applications et prolongements de la programmation linéaire,
Dunod, Paris, 1966, 446 p.
- R. Dorfman Programmation linéaire et gestion économique,
P. A. Samuelson Dunod, Paris, 1962, 560 p.
- R. M. Cyert Processus de décision dans l'entreprise,
J. G. March Dunod, Paris, 1971, 352 p.
- J. Ferrier La gestion scientifique des stocks,
Dunod, Paris, 1966, 352 p.
- C. W. J. Granger Analyse spectrale des séries temporelles en économie,
Dunod, Paris, 1969, 305 p.
- G. Hadley Etude et pratique des modèles de stocks,
T. M. Whitin Dunod, Paris, 1966, 460 p.
- A. Cicurel
J. Jesua
- J. D'Hoeraene La prévision dans l'entreprise,
Y. Ledoux Dunod, Paris, 1971, 164 p.
- C. C. Holt Planification de la production, des stocks, de l'emploi,
F. Modigliani Dunod, Paris, 1964, 412 p.
- J. M. Muth
H. A. Simon
C. P. Bonivi
P. R. Winters
- IBM An introduction to linear programming,
IBM-World, New York, 1964, 64 p.
- IBM Mathematical programming system/360 (MPS), User's Manual,
H 20-0290-3.
- IBM Linear programming Gasoline blending,
IBM-World, New York, 1965, 30 p.

- IBM Système d'information et de gestion de la production PICS,
IBM-France, Paris, 168 p.
- IBM Optimisation de planning industriel, optimisation de planning aléatoire,
IBM-France, Paris, 1962, 17 p.
- IBM Système intégré de gestion pour la production,
IBM-France, Paris, 1968, 39 p.
- IBM Ordonnancement 1,
IBM-France, Paris, 1966, 31 p.
- IBM Programmbeschreibung und Bedienungsanleitung, Kapazitätster-
minierung für Fertigungsbetriebe,
IBM-Deutschland, Sindelfingen, 1966, 140 p.
- IBM Lagerdisposition mit dem MINCOS-System,
IBM-Deutschland, Sindelfingen, 1965, 91 p.
- IBM La gestion des stocks de distribution et ses moyens de contrôle,
IBM-France, Paris, 1964, 99 p.
- IBM System/360 Wholesale IMPACT Program library, User's Manual,
H20-0255-1.
- IBM General information Manual IMPACT,
IBM-World, New York, 1962, 44 p.
- A. Kaufmann Méthodes et modèles de la recherche opérationnelle,
Dunod, Paris, 1958-1964, 2 vol.
- A. Kaufmann La programmation dynamique,
Dunod, Paris, 1965, 292 p.
- H. Kaufmann La prévision économique à court terme,
J. L. Groboillot Dunod, Paris, 1968, 296 p.
- J. J. Lambin La décision commerciale face à l'incertain,
Dunod, Paris, 1965, 415 p.
- G. Latourette Programmation linéaire et ordinateur,
J. Klee Entreprise moderne d'édition, Paris, 1970, 129 p.
- J. F. Magee Le planning de la production et le contrôle des stocks,
Dunod, Paris, 1962, 360 p.
- J. Mélése La gestion par les systèmes,
Edition Hommes et Techniques, Paris, 1968, 235 p.
- J. Mothes Prévisions et décisions statistiques dans l'entreprise,
Dunod, Paris, 1968, 644 p.
- J. Peguet Ordonnancement et ordinateur,
Entreprise moderne d'édition, Paris, 1970, 131 p.
- M. K. Starr La gestion des stocks,
D. M. Miller Dunod, Paris, 1966, 366 p.
- J. R. Sulzer La simulation,
P. Bouteille Entreprise moderne d'édition, Paris, 1970, 185 p.
P. Arquie
J. L. Bouchet
P. Y. Durand
- H. M. Wagner A dynamic version of the economic lot size Model,
T. M. Whiten Management Science, vol. 5, N1, 1958.
- P. J. Yvon Comment concevoir un système intégré de gestion,
G. Semin Entreprise moderne d'édition, Paris, 1970, 260 p.

